



**Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C.**

**Posgrado en Ciencias Biológicas**

**14 AÑOS DE CAMBIOS EN LA COMPOSICIÓN DE  
AVES MIGRATORIAS DE LA RESERVA DE RÍA  
LAGARTOS EN LA PENÍNSULA DE YUCATÁN**

**Tesis que presenta**

**EMELY PATRICIA MATÚ ÁLVAREZ**

En opción al título de

**MAESTRO EN CIENCIAS**

(Ciencias Biológicas: opción Recursos Naturales)

**Mérida, Yucatán, México**

**2019**



CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA DE YUCATÁN, A. C.

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS



#### RECONOCIMIENTO

Por medio de la presente, hago constar que el trabajo de tesis de **Emely Patricia Matú Álvarez** titulado “**14 Años De Cambios En La Composición De Aves Migratorias De La Reserva De Ría Lagartos En La Península De Yucatán**”, fue realizado en el laboratorio de ecología de aves de la Unidad de Recursos Naturales, en la línea de Cambio Global en Sistemas Neotropicales del **Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.** bajo la dirección del **Dr. Richard Evan Feldman**, perteneciente al Programa de Posgrado en Ciencias Biológicas dentro de la opción de Recursos Naturales de este Centro.

Atentamente

---

Dra. Cecilia Hernández Zepeda  
Directora de Docencia

Mérida, Yucatán, México a 07 de enero de 2020



## DECLARACIÓN DE PROPIEDAD

Declaro que la información contenida en la sección de Materiales y Métodos Experimentales, los Resultados y Discusión de este documento proviene de las actividades de experimentación realizadas durante el período que se me asignó para desarrollar mi trabajo de tesis, en las Unidades y Laboratorios del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., y que a razón de lo anterior y en contraprestación de los servicios educativos o de apoyo que me fueron brindados, dicha información, en términos de la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de la Propiedad Industrial, le pertenece patrimonialmente a dicho Centro de Investigación. Por otra parte, en virtud de lo ya manifestado, reconozco que de igual manera los productos intelectuales o desarrollos tecnológicos que deriven o pudieran derivar de lo correspondiente a dicha información, le pertenecen patrimonialmente al Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., y en el mismo tenor, reconozco que si derivaren de este trabajo productos intelectuales o desarrollos tecnológicos, en lo especial, estos se registrarán en todo caso por lo dispuesto por la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de la Propiedad Industrial, en el tenor de lo expuesto en la presente Declaración.



---

Emely Patricia Matú Álvarez



Este trabajo se llevó a cabo en la Unidad de Recursos naturales del Centro de Investigación Científica de Yucatán, participé bajo la dirección del Dr. Richard Evan Feldman.



## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada con el N° 812860 durante el proceso de maestría.

Al Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C. (CICY) por los espacios y servicios brindados para mi formación académica.

A la reserva de la Biósfera de Ría Lagartos por el apoyo para la obtención de los datos.

A mi comité tutorial, por la asesoría, consejos y tiempo brindado para el continuo mejoramiento de este trabajo.

A mis amigos y compañeros de laboratorio en especial a Beatriz Morales y Gerardo Linares por su contribución y paciencia para conmigo.

A mis compañeros del CICY por su apoyo a lo largo de mi estancia y fueron parte de mi formación en el posgrado.

A la familia Arjona Matú y a Dolores Chel por apoyarme en todo momento desde que inicié el posgrado, fueron como mi familia nuclear en toda mi estancia en Mérida.

A mis padres y hermanos, que de alguna manera a distancia sentía su apoyo y ánimos para terminar todo este proceso.

A mi pareja por la paciencia que me ha tenido y el apoyo para poder alcanzar cada una de las metas que me he trazado.

A él que, de alguna manera, ha estado presente cuando más dudas e inseguridades he tenido y aun así sigue cuidando de mí.



## **DEDICATORIAS**

A mi familia por haber sido mi apoyo a lo largo de todo el posgrado y a lo largo de mi vida.

A todas las personas especiales que me acompañaron en esta etapa, aportando a mi formación profesional y personal.

A él, que en toda esta etapa que fue un reto para mí, no me dejó caer bajo ninguna circunstancia y a pesar de las adversidades, me enseñó que había más motivos por los cuales seguir adelante.



## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>5</b>
<b>1.1. Antecedentes .....</b>	<b>5</b>
<b>1.1.1. Composición de especies .....</b>	<b>5</b>
<b>1.1.2. Las aves .....</b>	<b>6</b>
<b>1.1.3. Migración en las aves.....</b>	<b>7</b>
<b>1.1.4. Sitios de parada.....</b>	<b>8</b>
<b>1.1.5. Fenología de las aves migratorias .....</b>	<b>9</b>
<b>1.1.6. Selección del hábitat por parte de las aves migratorias.....</b>	<b>11</b>
<b>1.1.7. Las aves y la homogeneización.....</b>	<b>12</b>
<b>1.1.8. Las aves migratorias en la Reserva de la Biosfera de Ría Lagartos.....</b>	<b>13</b>
<b>1.2. Justificación.....</b>	<b>14</b>
<b>1.3. Preguntas de investigación .....</b>	<b>15</b>
<b>1.4. Hipótesis .....</b>	<b>15</b>
<b>1.5. Objetivos .....</b>	<b>17</b>
<b>1.5.1. General.....</b>	<b>17</b>
<b>1.5.2. Específicos .....</b>	<b>17</b>
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>19</b>
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>19</b>

2.1	Área de estudio.....	19
2.1.1	Hábitats del estudio: Matorral de duna costera y Manglar .....	19
2.2	Toma de datos .....	21
2.2.1	Obtención de datos para el cálculo de la fenología de aves .....	21
2.2.2	Obtención de datos para el cálculo de homogeneización.....	22
2.3	Cambios en la fenología de las aves.....	22
2.3.1	Obtención del número de especies para el análisis .....	22
2.3.2	Obtención de fecha de inicio, término y duración del período migratorio 23	
2.3.3	Homogeneización entre hábitats a través del tiempo.....	24
2.3.4	Obtención del índice de homogeneidad .....	25
2.3.5	Homogeneidad a través del tiempo.....	25
2.3.6	Obtención de especies compartidas a través del tiempo.....	26
2.3.7	Cálculo de la abundancia a través del tiempo.....	27
2.3.8	Modelo de abundancia a través del tiempo .....	28
<b>CAPÍTULO III .....</b>		<b>29</b>
<b>3.</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>29</b>
3.1	Cambios en la fenología de las aves migratorias.....	29
3.1.1	Fechas de inicio.....	29
3.1.2.	Fechas de término .....	30

3.1.3. Duración del período migratorio.....	31
3.2. Homogeneización a través del tiempo.....	32
3.2.2. Obtención de especies compartidas a través del tiempo .....	34
3.2.3. La abundancia y la homogeneización .....	36
3.2.4. Modelo de abundancia a través del tiempo .....	36
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>39</b>
<b>4. DISCUSIÓN.....</b>	<b>39</b>
4.1. Cambios en la fenología .....	39
4.2. Homogeneización a través del tiempo.....	43
4.3. Cambios en la fenología y homogeneización.....	44
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>47</b>
<b>5. Conclusiones y perspectivas .....</b>	<b>47</b>
5.1. Conclusiones.....	47
5.2. Perspectivas .....	47
<b>Bibliografía.....</b>	<b>49</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Rutas migratorias en Norteamérica. En donde la línea azul señala la ruta del Atlántico; la verde la ruta del Mississippi; la morada la ruta del centro y la amarilla la ruta del Pacífico. Figura tomada de Velarde <i>et al</i> , 2015. ....	<b>7</b>
<b>Figura 2</b> Predicciones ilustradas de la hipótesis uno. ....	<b>15</b>
<b>Figura 3</b> Predicciones de la hipótesis tres. ....	<b>16</b>
<b>Figura 4</b> Mapa de la Reserva de la Biósfera de Río Lagartos con información de algunos hábitats que posee la reserva y puntos de muestreo. Mapa realizado con información cartográfica de la Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO).....	<b>20</b>
<b>Figura 5</b> Ejemplo de Regresión cuantílica, ilustrando el cálculo de las pendientes para lo cuantiles 0.05 y 0.95.....	<b>24</b>
<b>Figura 6</b> Fechas de inicio de todas las aves migratorias registradas en los períodos 2001-2003 y 2016 - 2017. La palabra "Estatus" se refiere al tipo de migratoria, en donde RI: Residentes Invernales; T: Transeúntes; TRI: Promedio de fecha de inicio de todas las residentes invernales; TT: Promedio de fecha de inicio de todas las transeúntes; El asterisco* marca que fue significativa. ....	<b>30</b>
<b>Figura 7</b> Fechas de término de todas las aves migratorias registradas en los períodos 2001-2003 y 2016 - 2017. La palabra "Estatus" se refiere al tipo de migratoria, en donde RI: Residentes Invernales; T: Transeúntes; TRI: Promedio de fecha de término de todas las residentes invernales; TT: Promedio de la fecha de término de todas las transeúntes; El asterisco* marca que fue significativa. ....	<b>31</b>
<b>Figura 8</b> Promedio de la duración del período migratorio por grupos. ....	<b>32</b>
<b>Figura 9</b> Especies que ampliaron y redujeron la duración de su período migratorio. T: Transeúntes; RI: Residentes Invernales. ....	<b>32</b>

**Figura 10** Modelo de homogeneización a través del tiempo para todas las especies migratorias. ( $\alpha$ : 0.34,  $\beta$ : 0.02,  $r^2$ : 0.38,  $p$ : 0.02)..... **33**

**Figura 11** Modelos de homogeneización a través del tiempo para los grupos *amplio* y *redujo* con pendiente. Los puntos indican el valor del índice de homogeneización por año para el grupo *amplio* y *redujo*. Estos grupos fueron producto de los resultados obtenidos para la homogeneización en donde se obtuvo especies que redujeron (grupo *redujo*) su estancia y otras que la ampliaron (grupo *amplio*). Los intervalos de confianza generados al 95% al azar fueron de ( $\beta$ : 0.013 – 0.03) ..... **34**

**Figura 12** Modelo de diversidad alfa a través del tiempo. ( $\alpha$ : 20.35,  $\beta$ : 0.88,  $r^2$ : 0.06,  $p$ : 0.22). Los puntos indican el valor de alfa por año. .... **35**

**Figura 13** Modelo de especies compartidas a través del tiempo. ( $\alpha$ : 5.35,  $\beta$ : 1.16,  $r^2$ : 0.43,  $p$ : 0.01). Los puntos indican las especies compartidas por año. .... **35**

**Figura 14** Probabilidad de estar en más de un hábitat con relación a la abundancia. En donde las equis es la representación de los datos, en donde los 0 es ausencia y el 100 es presencia en más de un sitio. La línea morada es la representación del modelo que se obtuvo, representado en probabilidad de ocupación. (Los valores logit fueron convertidos para realizar la gráfica, mediante el paquete sjPlot en r.)..... **36**

**Figura 15** Modelo de abundancia. Cada punto indica el número de individuos registrados por año por cada hábitat. La línea gris es la pendiente obtenida para el modelo ( $\alpha$ : 5.1343,  $\beta$ : 0.5299,  $p > 0.05$ ). .... **37**



## ÍNDICE DE ANEXOS

**Anexo 1** Coordinadas de los cuatro hábitats y redes utilizadas dentro de los hábitats de duna y manglar. .... **63**

**Anexo 2** Especies con llegadas significativas. F1: Fecha de inicio; Ult.: Fecha de término; Intervalo: Intervalos con el 95% de confianza ..... **64**



## RESUMEN

Los cambios en la fenología y la homogeneización biótica - aumento en la similitud en composición de especies en diferentes hábitats - son procesos ocasionados por las alteraciones antropogénicas. A su vez, los cambios en la fenología y la homogeneización, repercuten directamente sobre la diversidad y mortalidad de las aves migratorias. En los trópicos se tiene escasa información de si están ocurriendo o no estos procesos y si están relacionados entre sí. Por lo cual, este trabajo se centró en contestar si existen cambios en la fenología de aves, determinar si existe homogeneización (similitud de comunidades entre diferentes hábitats) y determinar si el cambio en la fenología está relacionado con este proceso. Para responder a lo anterior se utilizaron bases de datos con un total de 14 años de información pertenecientes a la Reserva de la Biosfera de Ría Lagartos, Yucatán. Los cambios en la fenología se determinaron mediante la obtención de fechas de inicio, término y duración del período migratorio de otoño. La presencia de homogeneización se definió mediante una regresión lineal del índice de Jaccard a través del tiempo, en el mismo período. Encontramos que poco más de la mitad de las aves adelantaron sus fechas de inicio y término de migración. Asimismo, descubrimos que a través de catorce años pareciera estar sucediendo una homogeneización en el ensamble de aves migratorias entre los hábitats de matorral de duna costera y manglar debido a un aumento en el compartimiento de especies a través de los años. Así pues, los cambios en la fenología y el aumento de homogeneización parecieran no estar vinculados, ya que cada proceso pudiera ser conducido por diferentes factores. A pesar de ello podrían coincidir en alguna variable relacionada a la pérdida de la calidad del hábitat.

Palabras clave: aves migratorias, cambio climático, pérdida del hábitat.



**ABSTRACT**

Recent anthropogenic perturbations have reduced local-scale biodiversity and increased mortality of organisms like migratory birds. As a result, there have been changes to phenology – the timing of events in the annual cycle of an organism – and increases in biotic homogenization – the similarity of species composition between different habitats. Despite of the phenological changes and the advance of homogenization, there is little information whether the processes are occurring in the tropics or if they are related. Hence, this study's main goal was to answer if there are phenological changes in bird migration and if changes in phenology are associated with changes in biotic homogenization. To answer these questions, we used two data sets spanning up to 14 years from the Ria Lagartos Biosphere Reserve, Yucatan. We measured the arrival and departure dates and the length of autumn migration as an index of phenology change. We calculated homogenization using linear regression on the Jaccard index through time for during the same period. We found that more than half of our species advanced their arrival and departure dates. Furthermore, we found that the migratory bird communities of coastal dune and mangrove habitats became increasingly homogenized due to an increase in the number of species shared by both habitats. Nevertheless, contrary to our expectations, we did not find evidence that changes in phenology were associated with homogenization. It is possible that the loss of high-quality habitat underlies both processes but affects each in a different way.

Key words: migratory birds, climate change, habitat loss



## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los cambios en el medio ambiente se han acelerado debido a las transformaciones antropogénicas (Del Moral y Escandell, 2012). Esto ha ocasionado alteraciones inmediatas al entorno, como el cambio del uso de suelo, la pérdida y fragmentación del hábitat y cambios en el clima (Parmesan, 2006). Los cambios en el clima, reflejados principalmente en los cambios de temperatura y precipitación (IPCC, 2012; Márdero *et al*, 2012; Hansen *et al*, 2001) han repercutido en el comportamiento de muchos organismos (González *et al*, 2003), ejemplo de esto está en las plantas, las cuales han adelantado la aparición de hojas, flores y frutos (Peñuelas y Fillela, 2001). En las aves se ha visto una disminución de individuos en diferentes especies debido a los cambios principalmente en la temperatura (Crick, 2004)

Por su parte, las aves migratorias, han mostrado una variación en las fechas de inicio de su período reproductivo y de anidamiento (Crick, 2004; Bradley *et al*, 1999), así como la duración de su período migratorio (Volkov *et al*, 2016). Estos cambios en las aves se deben principalmente a su susceptibilidad a las variaciones climáticas, ya que experimentan un ciclo anual que comprende un desplazamiento cíclico y estacional entre sus sitios de reproducción (en zonas templadas) y sus sitios invernales/no reproductivo (en los trópicos) (Ocampo-Peñuelas, 2010), por lo que los cambios en el clima impactan a las aves en ambas regiones y temporadas. Y, al estar en un constante cambio, su fenología ha estado variando, afectando directamente a su éxito reproductivo (Drake *et al*, 2014; Vansteelant *et al*, 2015; La Sorte y Fink, 2016). Sin embargo, no sabemos si estos cambios en la fenología de las aves migratorias tengan una repercusión a nivel comunidad.

Un problema recurrente en la comunidad de aves debido a las alteraciones antropogénicas y el cambio climático es la homogeneización biótica (Blair, 2001). La homogeneización biótica es el compartimiento de especies entre dos o más hábitats lo que refleja una disminución en su beta diversidad a través del tiempo (Godet *et al*, 2014; Keith *et al*, 2009; Devictor *et al*, 2008). Es decir, este proceso da lugar a que los hábitats tengan una composición avifaunística similar a lo largo del tiempo (Keith *et al*, 2009). Se ha sugerido que la homogeneización es efecto de la urbanización aunado a los cambios en el clima

(Vázquez-Reyes *et al*, 2017; Clergeau *et al*, 2006; Crooks *et al*, 2004; Blair, 2001,2004). No obstante, no es claro cómo afecta a sitios alejados de la urbanización.

En la naturaleza, las aves migratorias seleccionan sus sitios de acuerdo con distintos factores, como la estructura y composición vegetal, los cuales son influenciados por el clima y sus variaciones (Hutto, 1985). A pesar de que las condiciones climáticas se han modificado en los últimos años, la plasticidad de las aves migratorias les permite a muchas sobrellevar estos rápidos cambios (Pulido, 2007; Stervander *et al*, 2005; Anthes, 2004). Una de las ventajas de la plasticidad es la selección a voluntad de sitios en donde estar (Pulido, 2007), para evitar situaciones adversas como la falta de alimento y la competencia intra e interespecíficas (Greenberg, 1992; Hutto, 1985). Esta capacidad adquiere mayor importancia durante su período migratorio, ya que, durante este período se enfrentan a la convivencia de especies residentes y otras migratorias (Greenberg, 1992). No obstante, la reducción del hábitat y los cambios en la fenología de la migración causan que las especies se vean obligadas a compartir los mismos hábitats al mismo tiempo, ocasionando un aumento en la abundancia de especies e individuos, lo que conlleva a presentar poblaciones con una mayor necesidad de condiciones, entre las que destacan el alimento, espacio e interacciones sociales (Sherry y Holmes, 1995; Fretwell y Lucas, 1970). Se ha documentado que cuando la abundancia aumenta, los mecanismos de denso-dependencia fuerzan a los individuos a sitios subóptimos (Ralston *et al*, 2016; Fretwell y Lucas, 1970). Con base en este supuesto, y que, además existen cambios en la fenología de las aves, nosotros proponemos que: al cambiar la fenología de las aves, en específico durante su período migratorio, podría estar sucediendo una homogeneización biótica a través del tiempo. Es decir: 1) si su período migratorio se reduce, esperamos que un mayor número de aves llegará en poco tiempo; saturando así su hábitat óptimo, obligándolas a irse a sitios subóptimos. Si esto sigue sucediendo con el tiempo se reflejará en una homogeneización entre sitios. 2) si su período migratorio aumenta, esperamos que los individuos llegarán de poco en poco, dándoles la oportunidad de ocupar su hábitat óptimo sin necesidad de saturarlo, por lo que no será visible una homogeneización. En dado caso de no encontrar una relación con los cambios fenológicos, esperamos que la homogeneización fuese producto de un aumento de especies generalistas y una disminución de las especialistas.

Para probar nuestra hipótesis, utilizamos datos de 14 años en un punto importante para el paso de las aves migratorias como lo es la Reserva de Ría Lagartos, puesto que se ubica después del paso por el Golfo de México cuando las aves vuelan a sus sitios de invierno. La reserva funge como un sitio de parada al proveer descanso, refugio y obtención de alimento para unas especies y para otras, funciona como un sitio de invernada. Así pues, la importancia del sitio para las aves, los distintos hábitats y la cercanía de asentamientos humanos lo hace un punto idóneo para determinar la homogeneización, ya que los puntos anteriores son importantes en el inicio de este proceso.



## CAPÍTULO I

### 1.1. Antecedentes

#### 1.1.1. Composición de especies

Una comunidad es definida como todas las especies que coexisten en un mismo tiempo y espacio independientemente de su taxón, por otro lado, los ensambles son definidos como un grupo de especies del mismo taxón (ej. las aves) dentro de una comunidad (Rohde, 2006). Asimismo, un parámetro que es medible para cualquiera de las anteriores es la composición, la cual refiere a las especies presentes y a su abundancia relativa (Putman, 1994). Para fines de este estudio el término comunidad de aves será tomado como sinónimo de ensamble.

La composición es un parámetro importante puesto que su análisis nos podría decir que procesos dan forma al ensamble en el tiempo y en el espacio (Fernández-Juric, 2000), es decir, nos da una perspectiva de cómo funciona y cambia (Ugalde-Lezama *et al*, 2010), por lo que nos ayuda a explicar los procesos ecológicos o a predecirlos (Vellend, 2016).

Un elemento importante para definir procesos o patrones en las comunidades es la escala espacial o temporal en las que sean observadas, ya que las comunidades se encuentran influenciadas por procesos que operan a múltiples escalas (Levin, 1992). En la escala espacial se reconocen escalas discretas como “locales” (escalas pequeñas), “globales” (escalas grandes) y “regionales” (escala en medio de las globales y locales), aunque para muchos estudios no hay necesidad de definir una escala ya que se comparan áreas de tamaño reducido (Vellend, 2016).

A nivel ecológico, la diversidad de especies se expresa en tres niveles: la riqueza de especies presente en un hábitat en particular (diversidad  $\alpha$ ), la heterogeneidad espacial o temporal de dos hábitats diferentes en un paisaje (diversidad  $\beta$ ) o un hábitat en dos periodos de tiempo (diversidad  $\beta$  temporal) y la riqueza de especies del paisaje entero (diversidad  $\gamma$ ) (Halffter *et al*, 2005; Moreno y Halffter, 2001). La principal diferencia entre la diversidad  $\alpha$  y  $\gamma$  con la diversidad  $\beta$ , es que la diversidad  $\alpha$  y  $\gamma$ , se clasifican como diversidad de inventario mientras que la diversidad  $\beta$ , es una diversidad de diferenciación (Calderón-Patrón *et al*, 2012).

La diversidad  $\beta$  es importante para el diseño de reservas, la medición de los efectos de fragmentación y para la estimación global de la diversidad (Hewitt *et al*, 2005), debido a que indica la medida en que las especies utilizan su hábitat mediante la presencia de comunidades y el cambio de las mismas (Wilson y Shmida, 1984). En la actualidad la diversidad  $\beta$  se ha utilizado para medir los cambios en las comunidades ocasionados por efectos del ser humano y se ha observado que en las aves la diversidad  $\beta$  ha ido disminuyendo debido a la urbanización (Blair, 2001, 2004; Blair y Johnson, 2008). No obstante, la diversidad  $\beta$  se ha utilizado para medir el recambio temporal de las especies en ambos períodos migratorios. Encontrando que, para otoño, en la costa norte de la Península de Yucatán, el inicio y final de la temporada, casi no comparten especies (Deppe y Rotenberry, 2005). Mostrando así que la diversidad  $\beta$  es útil para conocer características de la migración. A pesar de conocer la utilidad de esta medida en la evaluación del período migratorio, no conocemos su comportamiento a través del tiempo, si aumenta o disminuye, o si está relacionado con los cambios en la fenología migratoria.

### **1.1.2. Las aves**

La clase aves es un grupo bastante amplio, muy colorido y diverso, el cual contiene poco más de 9000 especies (Padilla y Cuesta, 2003). Las aves se pueden dividir en dos grandes grupos debido a su comportamiento, las aves residentes y migratorias.

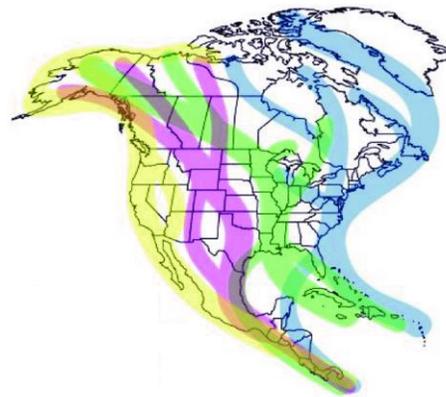
Las aves residentes son aquellas que permanecen en una región todo el año y se reproducen en el mismo (MacKinnon, 2017), mientras que las migratorias son aquellas que migran de una región reproductiva a una región de descanso o invierno (Ocampo-Peñuela, 2010). Asimismo, de acuerdo con MacKinnon (2017) dentro de las aves migratorias podemos encontrar a las residentes de invierno, que son aves que migran desde su zona de anidación, más al norte, a zonas tropicales para pasar el invierno, las cuales usualmente llegan a estos sitios en el período otoñal. Las aves residentes de verano son aquellas que escapan del invierno austral y llegan a sitios tropicales para anidar y regresan a sus sitios de origen para pasar el verano austral. Por último, se encuentran las aves transeúntes, son aquellas que llegan a un sitio para descansar y alimentarse para seguir su trayecto migratorio.

Las aves migratorias al realizar vuelos entre lugares ampliamente separados suelen comportarse y reaccionar diferente frente a situaciones como la selección del hábitat (Hutto, 1985), urbanización (Blair, 2001,2004), clima (Cepeda, 2012) obtención de alimentos, entre otros, ya que desarrollaron características diferentes (Helbig, 2003) a las aves residentes debido a su comportamiento migratorio.

### 1.1.3. Migración en las aves

La migración es un fenómeno común en la mayoría de los organismos del reino animal, en donde, las poblaciones se desplazan a diferentes sitios lejanos (Dingle y Drake, 2007). Particularmente, para las aves este fenómeno se lleva a cabo de manera estacional o bianual. Muchas realizan estos viajes, ya que aprovechan la abundancia de recursos en áreas que en otras épocas del año no son tan abundantes (Berlanga y Rodríguez, 2010), como ocurre en las latitudes más al norte, donde se reproducen aprovechando mejores condiciones en estos sitios, y regresan a los trópicos en otoño para pasar el invierno ya que los recursos son constantes en estos lugares tropicales, lo que les permite prepararse para el período reproductivo nuevamente (Cornelius *et al*, 2013; Ocampo-Peñuela, 2010).

Este comportamiento migratorio estacional, fue producto de la evolución de especies ancestrales que inicialmente habitaban en las zonas templadas de Norteamérica y que posteriormente fueron ampliando gradualmente su distribución geográfica hacia las zonas tropicales para evitar las severas condiciones en el invierno (Winger *et al*, 2014). Este cambio, trajo consigo un conjunto de adaptaciones que ha permitido que las aves migratorias desarrollen características importantes para que puedan llevar a cabo vuelos largos (Helbig, 2003). Dentro de estas adaptaciones se



**Figura 1** Rutas migratorias en Norteamérica. En donde la línea azul señala la ruta del Atlántico; la verde la ruta del Mississippi; la morada la ruta del centro y la amarilla la ruta del Pacífico. Figura tomada de Velarde *et al*, 2015.

encuentran las fisiológicas como el aumento de ingesta de alimento (Hiperfagia), almacenamiento de energía y nutrientes necesarios (Levey y Karasov, 1989; McWilliams y Karasov, 2001; Diggs *et al*, 2011), así como un mecanismo de navegación que les indica la

ruta a seguir entre el sitio de origen y de destino. En Norteamérica se reconocen cuatro rutas migratorias principales (Figura 1): la ruta del pacífico, la ruta del Centro, la ruta del Mississippi y la ruta del Atlántico (Berlanga y Rodríguez, 2010). En la Península de Yucatán convergen dos rutas, las del Mississippi y del Atlántico (Howell y Webb, 1995), situándola como un punto importante para muchas aves migratorias.

Otra adaptación importante es que las aves pueden responder a las fluctuaciones del ambiente, fotoperíodo o cantidad de luz solar que en conjunto marcan el comienzo y término de cada ciclo de su vida o fenología (Gordo, 2006; Dawson *et al*, 2001; Moore *et al*, 1982).

Estas adaptaciones han otorgado una ventaja a las aves como la plasticidad de su dieta, lo que les permite cambiarla de acuerdo con la disponibilidad de alimento (Rappole *et al*, 1993, McWilliams y Karasov, 2001), ya que esta tiende a variar, debido a otras aves u organismos, o a la producción del lugar (Peñuela y Filela, 2001).

#### **1.1.4. Sitios de parada**

Una gran porción de especies migratorias, llevan a cabo largos recorridos de varios miles de kilómetros y rara vez los individuos cubren esas distancias en un solo vuelo, por lo que existen sitios en los cuales pueden descansar, alimentarse y protegerse de enemigos y el clima (Zenzal y Moore, 2016). Estos lugares son conocidos como sitios de parada. Los sitios de parada tienen una gran importancia para las aves puesto que les da la oportunidad de reabastecerse de energía para poder llevar a cabo sus largos vuelos y así evitar una elevada mortalidad de individuos. Además, son sitios que en general pasan la mayor parte del tiempo dentro del período migratorio (Cohen *et al*, 2014). Asimismo, son puntos clave para las especies que en sus rutas migratorias atraviesan grandes barreras ecológicas como desiertos, montañas, océanos, y campos de hielo, entre otros; ya que éstas barreras se caracterizan por ser terrenos inhóspitos, que les fuerza a hacer largos vuelos sin descanso para disminuir su mortalidad (Deppe *et al*, 2015; La Sorte y Fink, 2016). Los sitios de parada son puntos para obtener la energía suficiente antes de su travesía por éstas barreras y como sitios de descanso/reabastecimiento de alimento, posterior a su paso. Se ha documentado que en barreras ecológicas como el Golfo de México muchas especies deciden cruzarla cuando cuentan con una buena reserva energética y existen condiciones atmosféricas de baja humedad en el ambiente (Deppe *et al*, 2015). Esto se debe a que la

baja humedad es un indicador de un conjunto de condiciones climáticas favorables en el camino y la reserva energética es lo que les permite llevar a cabo su vuelo.

El clima, la cantidad de energía con la que llegan, el tiempo del período migratorio o estancia, disponibilidad de alimento, el riesgo de depredación, sexo y edad son factores que influyen la duración de individuos en los sitios de parada (Gordo, 2007; Cohen *et al*, 2014).

#### **1.1.5. Fenología de las aves migratorias**

Los eventos naturales recurrentes, como la floración o fructificación de las plantas, aparición de insectos o la migración de aves; en relación con el clima son estudiados por la fenología (Gordo y Doi, 2012). La fenología puede ser aplicada a cualquier aspecto del ciclo de vida de un organismo, para las aves podría aplicarse en su migración, reproducción y muda. El estudio de la fenología en la migración de aves es medible a través de sus fechas de inicio (llegada) y término (salida) de sus períodos de anidación, período migratorio reproductivo y período migratorio de descanso en sus áreas invernales (Tryjanowski *et al*, 2005 y Gordo, 2006). En este documento el concepto fecha de inicio hace referencia a la fecha en que llegan las aves a sus sitios reproductivos, invernales o de descanso, y el de fecha de término hace alusión a la fecha de salida de las aves de sus sitios de reproducción, invernal o descanso.

Existen múltiples factores que condicionan la fecha de inicio y término de las aves, dentro de estos factores podemos encontrar los internos como su reloj biológico, el cual condiciona muchas de las respuestas migratorias que presentan las aves debido a fuertes bases genéticas (Berthold, 1996). Otro factor condicional son las variables ambientales, ejemplo de esto es el fotoperiodo, ya que este puede acelerar o inhibir procesos individuales de la migración (Gordo, 2006).

En los últimos años la fenología de las aves migratorias se ha visto afectada principalmente por el aumento de la temperatura (Dunn y Winkler, 1999; Both *et al*, 2004; Sparks *et al*, 2007; Miller-Rushing *et al*, 2008; Swanson y Palmer, 2009; Mayor *et al*, 2017), lo que ha llevado a un adelanto en la fenología de plantas e insectos, piezas clave para la supervivencia de las aves (Peñuelas y Filella, 2001), ocasionando cambios en su fenología.

La humedad (Barton y Sandercock, 2018) y precipitación (Studds y Marra, 2007), por su parte al ser factores climáticos importantes a la hora de vuelo, al cambiar, también cambia su horario de vuelo. Algunos rasgos ecológicos como el número de crías, que por el cuidado parental podrían mostrar una variación en su fenología (Rubolini *et al*, 2010). Todo lo anterior, ha ocasionado cambios en la fenología de las especies migratorias como el avance en la puesta de huevos (Dunn y Winkler, 1999; Both *et al*, 2004), el avance en las fechas de inicio de su período migratorio reproductivo (Barton y Sandercock, 2018; Mayor *et al*, 2017; Miller-Rushing *et al*, 2008; Sparks *et al*, 2007; Swanson y Palmer, 2009) y un retraso o adelanto en las fechas de inicio del período migratorio de descanso/otoño-invernal (Barton y Sandercock, 2018; Van Buskirk *et al*, 2009; Studds y Marra, 2007). Por otro lado, también se han observado cambios en la duración de su período migratorio en ambos sitios, en el reproductivo se ha reducido y en el invernal se ha ampliado (Barton y Sandercock, 2018), pero no se tiene un patrón claro ya que aún falta hacer más robusta la evidencia.

Los estudios previos han abordado los cambios fenológicos de manera general para las aves migratorias, sin tomar en cuenta los cambios por grupos migratorios como las residentes invernales y transeúntes. Sin embargo, sabemos por definición que, la estancia de las transeúntes es corta a comparación de las residentes invernales en el período de otoño (MacKinnon, 2017), incluso en el período de invierno las residentes invernales tienen un período de estancia más largo en comparación con las transeúntes, mostrando ambos grupos que su duración podría ser variable en su temporalidad entre un año y otro (Férrandez *et al*, 2001). Las aves transeúntes en otoño tienen una fecha de inicio y término definida, puesto que se quedan menos tiempo en lo que para ellas sería un sitio de parada y, por el contrario, para las residentes de invierno, la fecha de término no indica su salida de la península, ya que ellas utilizan la península como su sitio de descanso, así, la fecha de término para las residentes invernales podría tomarse como un posible movimiento a través de la península de Yucatán y no como el término de su estancia en la península.

Por otro lado, se ha reportado que los cambios que presentan las especies migratorias de manera general en su fenología han ocasionado una disminución en los individuos dentro de las poblaciones debido a la falla en la respuesta ante los cambios presentados en el ambiente, lo que se traduce en el deceso de los individuos (Both *et al*, 2006; Sparks *et al*, 2007; Saino *et al*, 2011; Moller *et al*, 2008). Asimismo, estas disminuciones se pueden dar

también por condiciones inclementes del clima aunadas a falta de descanso y alimento durante su trayecto migratorio (Deppe *et al*, 2015), puesto que las condiciones climáticas al ir en contra del ave, su requerimiento energético aumenta, esto aunado con la falta de descanso y alimento, propicia el deceso de individuos (Both *et al*, 2006).

#### **1.1.6. Selección del hábitat por parte de las aves migratorias**

El hábitat se define como el lugar que reúne un conjunto de recursos y condiciones favorables para que una especie pueda vivir y desarrollarse (Tapia *et al*, 2007). La selección del hábitat refiere a un proceso jerárquico que involucra una supuesta serie de respuestas innatas, aprendidas o ambas, hechas por las especies en relación a qué hábitat usar a diferentes escalas espaciales y/o temporales (Tapia *et. al*, 2007; Mayor *et al*, 2009). Las especies migratorias dependiendo de su especialización y tolerancia ecológica, usan y seleccionan su hábitat de manera diferente a pesar de que muchas pertenezcan al mismo grupo taxonómico (Ferrer, 2015).

En el sentido evolutivo, de acuerdo a Hutto (1985), la selección del hábitat implica una ponderación de los costos y beneficios asociados con el uso de cada tipo de hábitat disponible, estos costos y beneficios son determinados por diferentes factores en diferentes niveles de organización. Dentro de estos están las restricciones evolutivas intrínsecas o del hábitat, que incluyen la obtención de alimentos o protección provista por el hábitat; y las extrínsecas o externas al hábitat, que incluyen la accesibilidad del hábitat o patrones climáticos que podrían influenciar al uso del hábitat durante la migración.

Los factores intrínsecos que muchas especies toman en cuenta a la hora de seleccionar su hábitat incluyen la disponibilidad de recursos, evitar competidores y enemigos, así como la composición vegetal (Morris, 1999) ya que brinda información respecto a la distribución de recursos y condiciones del hábitat (Deppe y Rotenberry, 2008). La densidad poblacional, también es un criterio importante para la selección del hábitat de los individuos (Ralston *et al*, 2016). Al aumentar la densidad poblacional en un hábitat, algunos individuos suelen preferir moverse a un lugar distinto, por el costo-beneficio de acuerdo a su adecuación biológica producto de la selección natural de cada especie (Allen, 2007). Debido a que en los hábitats con mayor número de individuos la competencia y depredación podrían ser

mayores muchas aves optan por desplazarse a otros hábitats, aunque sean de menor calidad (Fretwell y Lucas, 1970; Hilden, 1965; Greenberg, 1992 y Lynch, 1992).

La selección del hábitat está sujeta a las escalas temporales y espaciales. La escala se define como la dimensión física de un objeto o proceso en el espacio, en el tiempo o en ambas. Por lo que para un mismo proceso pueden ocurrir diferentes patrones a distintas escalas ya que son regulados por diferentes mecanismos (García, 2007). Así, distintos factores y procesos a distintas escalas, pueden formar la distribución de especies. Por ejemplo, a escala de paisaje las aves muestran que la composición vegetal tiene un mayor peso en la selección de su hábitat (Deppe y Rotenberry, 2008). Sin embargo, en escalas pequeñas o locales la combinación de la composición vegetal y la arquitectura vegetal (Pearman, 2002; Deppe y Rotenberry, 2008), tienen un mayor peso en su selección. Por lo que es importante tomar en cuenta la escala cuando se está hablando sobre la forma en como seleccionan su hábitat las especies.

#### **1.1.7. Las aves y la homogeneización**

La homogeneización biótica es el incremento en la similitud de la composición de especies entre comunidades a través del tiempo. Puede surgir a través de muchos mecanismos ecológicos que representan interacciones específicas y diferentes entre especies nativas, no nativas y el medio ambiente (Olden y Poff, 2003). Los principales procesos que conducen a la homogeneización es la extinción local, usualmente de especialistas, y la invasión, principalmente de generalistas (McKinney y Lockwood 1999; Lockwood y McKinney 2001; Keith *et al*, 2009). A pesar de que generalmente la homogeneización biótica es referida a los procesos de invasión – extinción, este proceso puede ocurrir cuando un cambio en el ambiente promueve una expansión geográfica de algunas especies y la reducción geográfica de otras (McKinney y Lockwood, 1999). Esto resulta en la simplificación de ecosistemas y el aumento de similitud entre regiones (Van Turnhout *et al*, 2007).

En el grupo de aves, la homogeneización es magnificada por la urbanización, en donde los lugares más urbanizados o cercanos a ellos muestran una composición avifaunística más similar, (Blair, 2001, 2004; Crooks *et al*, 2004; Blair & Johnson, 2008; Clergeau *et al*, 2006; Vázquez-Reyes *et al*, 2017), debido a que como cada sitio urbanizado es construido con requerimientos similares, estas modificaciones al entorno propician el aumento en la

similitud en estas áreas urbanizadas (Vázquez-Reyes, *et al*, 2017). Asimismo, los mecanismos que llevan a cabo la homogeneización son diferentes dependiendo de la escala con que sea medida (Blair, 2004). De acuerdo con White *et al*, (2018), en escalas espaciales grandes de paisaje, la aparición de eventos climáticos extremos pareciera aumentar el grado de homogeneización, mientras que, en escalas pequeñas se asocia más a los cambios meteorológicos como la temperatura.

#### **1.1.8. Las aves migratorias en la Reserva de la Biosfera de Ría Lagartos**

La península de Yucatán es un importante sitio de parada en donde las especies migratorias se refugian, descansan y abastecen de alimento (MacKinnon, 2017), ya que se encuentra ubicada después del Golfo de México, una barrera ecológica que suele desgastar mucho a las aves debido a su gran extensión (Deppe y Rotenberry, 2008; La Sorte y Fink, 2016). La variedad de hábitats con los que cuenta la península de Yucatán, como el matorral de duna costera, manglares y petenes en el norte; selvas bajas con sistemas agropecuarios en el centro y selvas medianas subcaducifolias y subperenifolias en el sur (Flores-Guido *et al*, 2010) hacen de la península un sitio idóneo para la obtención de alimento y refugio para las aves residentes y migratorias (Deppe y Rotenberry, 2005; Medellín *et al*, 2009).

La Reserva de la Biósfera Ría Lagartos es uno de los sitios que se encuentra bajo protección dentro de la Península de Yucatán, el cual contiene dos áreas de importancia para la conservación de aves (AICAS), las cuales corresponden a las áreas denominadas SE-41 y SE-42; además se encuentra reconocido como sitio Ramsar o humedales de importancia internacional desde 1986. De igual forma cuenta con programas para proteger la zona de anidación de la mayor parte de la población de flamenco rosado (*Phoenicopterus ruber roseus*) en México y dispone del programa de monitoreo permanente de riqueza y abundancia de la avifauna dentro de la reserva. Esto permite determinar el estado de conservación de los hábitats a través de la valoración de su diversidad (Vega-Moro y Cepeda-González, 2006; CONANP, 2010) y crear programas de manejo para las especies en riesgo. Gracias a la ejecución de estos programas y a la colaboración con instituciones científicas, se ha reportado que existen 315 especies de aves, de las cuales 72 son migratorias y el resto residentes (Gómez-Pompa y Dirzo, 1995), representando así el 56 % de las familias de aves en México, el 83 % de las especies migratorias que llegan al país y el 48 % de las especies registradas en territorio nacional (Cepeda, 2012). Asimismo, se ha

reportado que las aves migratorias tienden a cruzar directamente el golfo de México cuando tienen una buena reserva energética y la humedad ambiental se los permite (Deppe *et al*, 2015), y que las características que toman en cuenta las aves migratorias en la selección del hábitat varían dependiendo de la escala en sean medidas, no obstante, las especies migratorias utilizan el hábitat de manera similar a como lo hacen en sitios de zonas templadas (Deppe y Rotenberry, 2008).

De esta manera, la reserva alberga una gran variedad de aves, funge como punto clave para la conservación de la avifauna a nivel nacional y regional. Además, ha ayudado a responder dudas sobre las especies migratorias, sin embargo, aún falta mucho por explorar en la reserva.

## **1.2. Justificación**

Las aves migratorias han presentado variaciones en partes de sus ciclos de vida a causa de los cambios generados en su entorno. Los cambios en la fenología migratoria han sido una respuesta a estos cambios en su entorno, afectando principalmente al éxito reproductivo y a los números poblacionales de las aves (Both *et al*, 2006). Sin embargo, no solo las poblaciones han respondido a estas variaciones en el ambiente, ya que en el caso de las comunidades se ha observado que algunas de las interacciones con otros organismos se han desajustado, llevando a muchas especies a una fase de acoplamiento.

Sin embargo, el clima es un factor principal en los cambios en el entorno de las especies migratorias y su influencia no es igual en muchas regiones del mundo. Las respuestas fenológicas, de igual manera, resultan ser diferentes en las distintas regiones. Por lo cual, las aves no responden igual en las zonas templadas a como lo hacen en los trópicos. A pesar de esto, muchos de los esfuerzos para entender estos cambios han sido mayores en el período migratorio de primavera, en zonas templadas, dejando vacíos de conocimiento en el período migratorio de otoño (Rappole *et al*, 1993, Gallinat *et al*, 2015), en los trópicos. Así pues, pese a que el clima es un factor importante en los cambios fenológicos, esta relación no se pondrá a prueba, sino que al existir todavía vacíos en la información del período migratorio de otoño nos centraremos en lo principal, responder si existen cambios en la fenología de las aves en un sitio dentro del trópico. Por lo que mediremos los cambios fenológicos mediante la fecha de inicio, término y duración o amplitud del período

migratorio, así como, realizar un análisis de los grupos residentes invernales y transeúntes, parámetros que son útiles para entender y observar patrones dentro del ensamble de aves. Otro elemento importante a medir es la diversidad beta, puesto que a pesar de saber que aumenta cuando la urbanización, fragmentación y perturbación incrementa. Aun no es claro que ocurre con la diversidad beta en las aves migratorias en un sitio conservado como la reserva de Ría Lagartos. Finalmente, al tener un panorama general de las respuestas en la fenología y beta diversidad, se plantea como objetivo de este trabajo demostrar si el cambio en la migración de otoño conlleva a una homogeneización de la composición de aves migratorias en hábitats diferentes a través del tiempo.

### 1.3. Preguntas de investigación

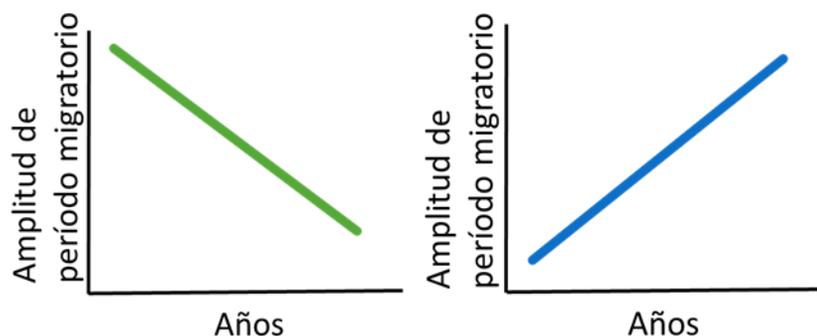
1. ¿Existe un cambio en la fenología de la migración de otoño en un sitio del neotrópico?

Y de ser así:

2. ¿De qué manera este cambio en la fenología de la migración influye sobre el proceso de homogeneización en la comunidad de aves migratorias?

### 1.4. Hipótesis

1. La amplitud/duración del período migratorio cambiará a través de los años.



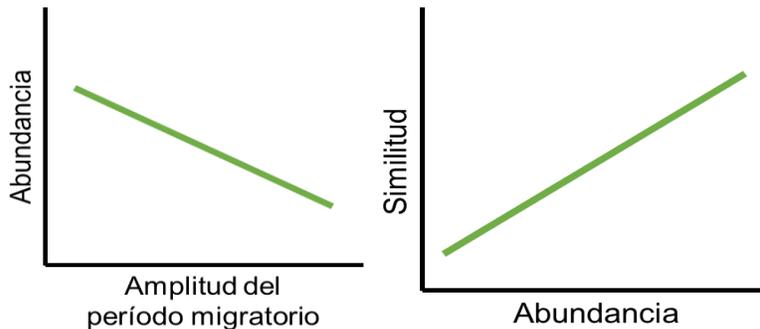
**Figura 2** Predicciones ilustradas de la hipótesis uno.

Predicción: Los cambios en la amplitud/duración del período migratorio serán diferentes entre las especies ocasionando una ampliación o reducción en su estadía.

2. Los cambios fenológicos varían entre transeúntes y residentes invernales.

Predicción: Las transeúntes mostrarán una mayor variación en sus fechas de inicio, término y duración a comparación de las residentes invernales, debido a que usan la península como sitio de parada. Mientras que las residentes invernales tendrán un mayor cambio en sus fechas de inicio debido a que usan la península como sitio de invierno.

3. Los cambios en la amplitud/duración del período migratorio se expresarán en una mayor similitud de las comunidades de aves migratorias en dos hábitats diferentes.



**Figura 3** Predicciones de la hipótesis tres.

Las predicciones 3.1 y 3.2 se encuentran bajo el supuesto que independientemente del cambio en la duración, las especies aproximadamente serán el mismo número. De esta manera si la duración amplía, las aves tendrían mayor tiempo de ir llegando poco a poco. Sin embargo, si la duración reduce, las aves tendrían que llegar apresuradamente en grandes números a ocupar el sitio e irse. Así, de acuerdo a Fretwell y Lucas en 1970, cuando las aves tengan una gran abundancia, serán forzados a ocupar hábitats subóptimos por el mecanismo de denso-dependencia, que con el tiempo se vería reflejado en hábitat más similares. Entonces:

Predicción 3.1: Las especies cuya amplitud/duración se vea reducida presentarán una mayor abundancia diaria. Por el contrario, si la amplitud aumenta, la abundancia diaria será menor.

Predicción 3.2: Un aumento en la abundancia diaria de las especies conllevará a que la comunidad de aves migratorias de dos diferentes hábitats sea más similar a través del tiempo.

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. General**

Demostrar si el cambio en la migración de otoño conlleva a una homogeneización de la composición de aves migratorias en matorral de duna costera y manglar, a través del tiempo.

### **1.5.2. Específicos**

Determinar si existe un cambio en la fenología migratoria de aves en su fecha de inicio, término y duración de su período migratorio.

Estimar la homogeneización en la comunidad de aves migratorias en dos hábitats diferentes como el matorral de duna costera y manglar.

Evaluar si la homogeneización se relaciona con los cambios en la fenología de las aves migratorias.



## CAPÍTULO II

### 2. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 2.1 Área de estudio

La reserva de la Biosfera de Ría Lagartos es una superficie protegida de 60.348 ha, ubicada sobre las coordenadas extremas 21° 37' 29.56" y 21° 23' 00.96" latitud norte; 88° 14' 33.35" y 87° 30' 50.67" longitud oeste. Por lo que se localiza en el extremo oriental de la franja litoral del estado de Yucatán, al norte limita con el Golfo de México, al este con el estado de Quintana Roo, al sur con los municipios de Tizimín, Ría Lagartos y San Felipe y al oeste con el municipio de San Felipe (CONANP, 2010, 2007).

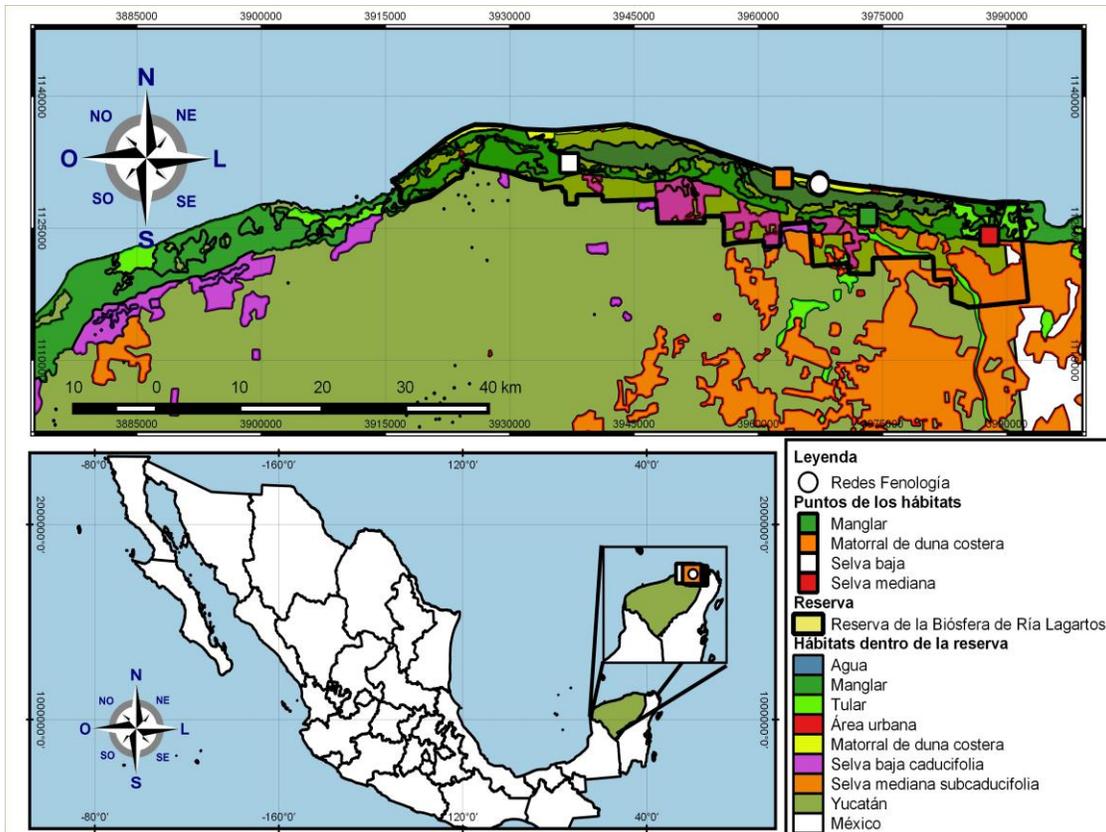
La Reserva cuenta con diversos ecosistemas los cuales contribuyen de manera diferente a la cobertura vegetal. Del 60 % de la vegetación dentro de la superficie de la reserva, el que tiene mayor aporte es la selva mediana subcaducifolia con un 17 %, seguida por el manglar con el 16 %, el tular con el 12 %, la selva baja caducifolia con 11 % y por último el matorral de duna costera con un 4% (Figura 4) (CONANP, 2007; Chiriguchi, y Salinas-Peba, 2017).

##### 2.1.1 Hábitats del estudio: Matorral de duna costera y Manglar

Los hábitats de estudio se escogieron de acuerdo a la información recabada y concordante con las bases de datos que se utilizaron. En este caso fueron el matorral de duna costera y manglar.

La duna es una gran acumulación de arena en forma ondulada. Se encuentra distribuida a lo largo del litoral costero de la península de Yucatán, desde el Golfo de México hasta el mar Caribe, con una extensión aproximada de 205 km en el estado de Yucatán. En el matorral de duna costera, las especies vegetales se distribuyen a lo largo de un gradiente de tolerancia que va de lo adverso (cerca de la playa) al menos adverso (hacia tierra adentro) de acuerdo a sus factores limitantes (Chiriguchi, y Salinas-Peba, 2017). Dentro del matorral se encuentran plantas suculentas como el sisal (*Agave sisalana*), babki (*Agave angustifolia*), el nopal (*Opuntia dillenii*) y el cactus (*Cereus pentagonus*), arbustos o árboles pequeños como la uva de mar (*Coccoloba uvifera*) y el sikil-ha'xiu (*Lantana involucrata*), y

palmas como nakax (*Coccothrinax readii*), palma chit (*Thrinax radiata*) y la kuká (*Pseudophoenix sargentii*), (CONANP, 2010).



**Figura 4** Mapa de la Reserva de la Biósfera de Río Lagartos con información de algunos hábitats que posee la reserva y puntos de muestreo. Mapa realizado con información cartográfica de la Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO).

El manglar es representado por especies arbóreas y corresponde al ecotono entre ambientes marinos y terrestres. Está distribuido a lo largo de las lagunas costeras, estuarios y zonas inundables, por lo que las especies que lo habitan soportan ambientes de dulceacuícolas hasta hipersalinos, con un mejor desarrollo en ambientes salobres. La reserva presenta manglares de franja y achaparrado (Chiriguchi y Salinas-Peba, 2017).

El manglar es abundante y presenta una zonificación específica desde sitios más húmedos dominados por mangle rojo (*Rhizophora mangle*) y mangle blanco (*Laguncularia racemosa*), hasta menos húmedos con el mangle negro (*Avicennia germinans*) y el mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*). La distribución del manglar en el estero está segmentada

por agrupaciones de tular-pastizal-carrizal, de selva baja caducifolia inundable, vegetación de matorral de duna costera y petenes. Estas variaciones promueven el incremento de la diversidad de plantas y animales (CONANP, 2010).

## **2.2 Toma de datos**

Se trabajó con dos bases de datos distintas debido a que la toma de datos se hizo en los mismos hábitats en años coincidentes. La primera base de datos se utilizó para determinar los cambios en la fenología de las aves migratorias y la segunda para estimar la similitud entre los hábitats de matorral de duna costera y manglar.

### **2.2.1 Obtención de datos para el cálculo de la fenología de aves**

Los datos utilizados para esta investigación fueron producto de dos proyectos diferentes. Por lo cual, los años de muestreo no eran continuos, así que la base de datos se dividió en dos períodos. El primer período consta de tres años (2001,2002 y 2003) y el segundo de dos años (2016 y 2017). En ambos casos, los datos se colectaron en el período migratorio de otoño (13 de agosto – 16 de noviembre) y fueron tomados por el equipo de la Dra. Jill Deppe y Dr. Richard Feldman.

En los dos casos se utilizaron redes de niebla para capturar y registrar datos de las aves. Esta base fue útil para conocer que especies llegan a la reserva y tener una idea del día en que podrían estar llegando, lo cual fue importante en el cálculo de fenología.

#### **2.2.1.1 Manejo de las redes de niebla**

Las redes de niebla se operaron en sitios de matorral de duna costera y manglar (Coordenadas en Anexo 1). En el primer período se utilizaron 17 redes de niebla y para el segundo período fueron 10. Sin embargo, para los distintos análisis se utilizaron las mismas redes de niebla, es decir 10 y 10 para los dos períodos. Las redes se abrían aproximadamente 15 minutos antes del amanecer y se cerraban al medio día para evitar el estrés por el calor y con ello la mortalidad de las aves; eran revisadas cada 30 minutos. En 2001 se operó del 13 de agosto al 06 de noviembre, obteniendo datos de 55 días, en 2002 del 07 de agosto al 18 de noviembre con datos de 41 días, en 2003 del 03 de agosto al 26

de noviembre con datos de 49 días, en 2016 de 04 de agosto al 14 de noviembre con datos de 80 días y en 2017 de 03 de agosto al 16 de noviembre con datos de 76 días.

### **2.2.2 Obtención de datos para el cálculo de homogeneización**

Para calcular la homogeneización, se utilizó una base de datos de 14 años (2004-2017) facilitada por la Reserva de la Biosfera de Ría Lagartos (CONANP). La técnica utilizada para obtener estos datos fue de puntos por conteo, la cual se realizó de la siguiente forma:

Se establecieron 30 puntos en cuatro hábitats (matorral de duna costera, manglar, selva baja espinosa inundable y selva mediana) (coordenadas de los hábitats en Anexo 1), cada punto estaba distanciado del otro por 250 m. En cada punto los observadores se detenían por 10 minutos para registrar las especies mediante el canto y avistamientos. Las visitas fueron mensuales, con aproximadamente 4 días de censo, pues eso tomaba recorrer los 30 puntos en cada hábitat.

A pesar de contar con la información de estos cuatro hábitats, especialmente para el cálculo de la homogeneización solo se tomaron en cuenta los datos de los hábitats de matorral de duna costera y manglar, ya que estos mismos hábitats se usaron en la primera base de datos.

### **2.3 Cambios en la fenología de las aves**

Se definió el período migratorio de otoño para ambos períodos del día 225 al 320 en el calendario juliano, el cual corresponde aproximadamente de 13 de agosto al 16 de noviembre. Es importante destacar que la comparación entre estos dos períodos, no permite modelar de manera continua los cambios fenológicos. Sin embargo, bajo el supuesto que los cambios son graduales, las posibles fluctuaciones anuales serían más pequeñas, lo que permitiría ver un patrón general en la fenología.

#### **2.3.1 Obtención del número de especies para el análisis**

Para determinar con cuantas especies se trabajaría, se creó una base de datos de presencia y ausencia para los cinco años (2001, 2002, 2003, 2016 y 2017). Así, se obtuvieron las especies candidatas a ser analizadas, puesto que de esta forma se aseguraba la presencia de las especies todos los años y con el ello el cálculo de su

fenología. Posteriormente, los datos se separaron en período uno (2001-2003) y período dos (2016-2017). Sin embargo, no era viable usar todas estas especies porque unas solo mostraban estar presentes por uno o dos días. Por lo que se decidió utilizar solo las especies que al menos estuvieran presentes 8 días diferentes en el período uno y dos. Así pues, el análisis se hizo con 24 especies migratorias, las cuales fueron agrupadas en residentes de invierno y transeúntes.

### 2.3.2 Obtención de fecha de inicio, término y duración del período migratorio

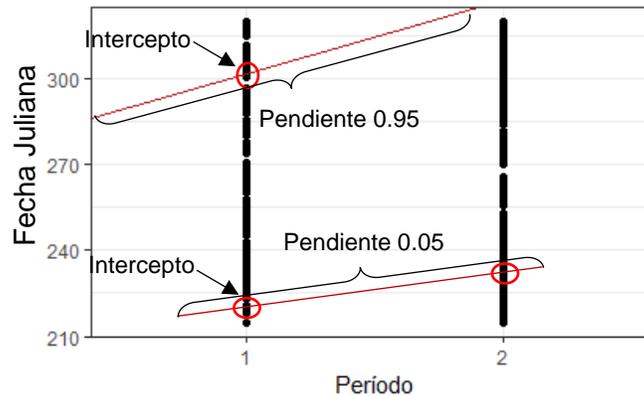
Al final de las agrupaciones se obtuvo una base de datos con las fechas que estuvieron presentes las 24 especies a lo largo del período migratorio de otoño. El cálculo de la duración del período migratorio de otoño requería de una fecha de inicio y una de término. Para determinarla, se aplicó una regresión cuantílica, ya que mediante una regresión lineal simple se obtiene solo una pendiente para la misma variable de respuesta, mientras que la regresión cuantílica, mediante sus cuantiles, conduce a diferentes pendientes para diferentes niveles de la variable respuesta. Así, en lugar de ajustarse una media a los datos, la regresión cuantílica, ajusta a un cuantil de regresión especificado y minimiza la suma de errores absolutos ponderados, por lo tanto, no asume una forma específica para la distribución de errores, lo que lo hace idóneo para modelar la fenología de las aves (Knudsen *et al*, 2007).

La regresión cuantílica se aplicó para el grupo de transeúntes y residentes de invierno. En donde se utilizaron todas las fechas de captura de cada especie y la interacción entre el período (1 y 2) y especies fungió como variable predictora, en donde:

$$\text{Fecha Juliana} = a + b[\text{Período} * \text{Especie}]$$

$$a = \text{ordenada al origen} \quad b = \text{Pendiente}$$

Así, se obtuvo la diferencia entre períodos para los cuantiles 0.05, fecha de inicio y cuantil 0.95, fecha de término, para cada especie (Figura 5). La regresión se realizó con el paquete “quantreg” (Koenker, 2018) del programa R 3.5.1 (R Development Core Team, 2018).



**Figura 5** Ejemplo de Regresión cuantílica, ilustrando el cálculo de las pendientes para los cuantiles 0.05 y 0.95

Con la pendiente e intercepto proporcionada por la regresión cuantílica para los dos cuantiles para cada especie, se predijeron las fechas esperadas de inicio y término para cada especie por grupo. Asimismo, por especie el modelo arrojó un intervalo de confianza del 95% para los dos cuantiles. Los intervalos de confianza se utilizaron para reconocer las especies que fueron significativamente diferentes entre las fechas de inicio/término entre un período y otro.

El cálculo de la duración o amplitud del período migratorio se hizo mediante la resta de la fecha de término menos la fecha de inicio para cada período. Con esta información también se supo si habían ampliado, reducido o no había cambiado la amplitud del período uno y dos.

### 2.3.3 Homogeneización entre hábitats a través del tiempo

Para poder determinar la homogeneización entre hábitats a través del tiempo y explorar su conexión con los cambios en la fenología, se utilizó la base de datos de 14 años con los mismos hábitats, meses y redes utilizados en la primera base de datos. Posteriormente, se construyeron dos bases de datos, una contemplaba a todas las especies migratorias y en la segunda contenía a las 24 que se utilizaron en el análisis de fenología. En donde, la primera base de datos se utilizó para medir la homogeneización a través del tiempo y la segunda base de datos con las 24 especies, que también se midió la homogeneización, fue

de utilidad para determinar si la homogeneización estaba relacionada con la fenología o solo era producto de la aleatoriedad.

### 2.3.4 Obtención del índice de homogeneidad

Se utilizó el índice de Jaccard como una manera de medir la homogeneidad a través del tiempo debido a que 1) la base de datos era de presencia y ausencia, 2) el índice de Jaccard brinda la ventaja de cuantificar la homogeneización basada en observaciones en dos puntos distintos en el tiempo; 3) es uno de los índices más utilizados para el cálculo de homogeneización; 4) se cumplía con los supuestos de utilizar la misma técnica y esfuerzo de muestro; y 5) es un índice fácil de interpretar, ya que, los valores que maneja van de 0 cuando no hay especies compartidas entre ambos sitios, hasta 1 cuando los dos sitios tienen la misma composición de especies (Moreno, 2001; Olden y Roney, 2006), y se expresa de la siguiente forma:

$$I_j = \frac{c}{a + b - c}$$

donde:

*a* = número de especies presentes en el sitio A.

*b* = número de especies presentes en el sitio B.

*c* = número de especies presentes en ambos sitios A y B.

Los cálculos de este índice fueron a través del paquete de R “vegan” (Oksanen, 2018).

Se calculó el índice de homogeneidad para todas las migratorias y para las 24 especies utilizadas en el cálculo de la fenología.

### 2.3.5 Homogeneidad a través del tiempo

Se realizó una regresión lineal con la finalidad analizar la relación o dirección de la homogeneización (índice de homogeneización/Jaccard) a través del tiempo, en donde:

$$Jaccard = a + b[\text{año}]$$

*a* = ordenada al origen *b* = Pendiente

Se hicieron cuatro modelos, el primero tomaba en cuenta a todas las especies migratorias, el segundo y tercero, tomaban en cuenta a las especies que ampliaron y redujeron su periodo migratorio (incluyendo a las no significativas) de acuerdo a los resultados de cambio en la fenología, respectivamente, y el último modelo contemplaba a 1000 grupos aleatorios creados mediante el método Bootstrap. La finalidad de los grupos aleatorios fue observar si los grupos *amplio* y *redujo* mostraban patrones diferentes a comparación de los grupos con especies seleccionadas al azar. Es decir, se quería observar si las agrupaciones de especies por sus cambios en fenología tenían alguna significancia a comparación de los grupos creados al azar. Al correr la regresión lineal con cada grupo aleatorio se generaron 1000 estimaciones en relación con el año, así, si las estimaciones de los grupos *amplio* y *redujo* se encontraban dentro del intervalo de confianza al 95% de los grupos aleatorios mostrarían que sus distribuciones pertenecen al azar y de caer fuera, señalarían que probablemente los cambios en la duración del período migratorio son un factor que puede explicar la homogeneización a través del tiempo.

### **2.3.6 Obtención de especies compartidas a través del tiempo**

Para determinar si la homogeneización era debido a la merma de especies en total o un incremento en el número de especies compartidos se procedió a hacer el cálculo de la diversidad  $\alpha$  a través de los 14 años de datos en los hábitats de matorral de duna costera y manglar. Posteriormente se realizó una regresión lineal para poder visualizar la dirección de la diversidad  $\alpha$  a través del tiempo, en donde:

$$\text{Diversidad } \alpha = a + b[\text{año}]$$

$$a = \text{ordenada al origen } b = \text{Pendiente}$$

Con la información de la diversidad  $\alpha$  se calcularon las especies que comparten realmente los hábitats de matorral de duna costera y manglar. Este cálculo se hizo mediante la multiplicación de la diversidad alfa con la proporción obtenida del índice de Jaccard, puesto que el cálculo del índice de Jaccard es una proporción de la cantidad de especies que comparten y al despejar esa fórmula se obtiene el número exacto que comparten entre estos dos hábitats

$$I_j = \frac{c}{a + b + c} \text{ lo que es igual a } I_j = \frac{c}{\text{Diversidad } \alpha}$$

$$\text{Así pues } c = I_j * \text{Diversidad } \alpha$$

Ya con el número de especies despejado, se realizó una regresión lineal del número de especies compartidas en donde:

$$\text{compartidas} = a + b[\text{año}]$$

$$a = \text{ordenada al origen } b = \text{Pendiente}$$

De esta manera se podría observar si los hábitats comparten más especies con el tiempo.

### 2.3.7 Cálculo de la abundancia a través del tiempo

Para probar si la abundancia es una variable que explica que las especies se encuentren en más de un hábitat, se calculó la abundancia por especie de todas las aves migratorias observadas en los 14 años de datos de la reserva dentro de todos los hábitats. Así pues, se tomó en cuenta las especies que estuvieron presentes al menos 10 años en cualquiera de los cuatro hábitats de la reserva. Finalmente, quedaron 20 especies de 77 que se habían registrado. Hecho este filtrado, se estimó para cada especie su abundancia por año y mes. Así, se creó una base de datos de presencia y ausencia en cada hábitat, la cual facilitó la identificación de las especies que estaban presentes en más de un hábitat.

Se determinó la probabilidad de presencia de las especies en más de un hábitat mediante una regresión logística generalizada mixta en donde el factor fijo fue la abundancia y los interceptos aleatorios fueron año, mes y especies. Estos análisis se hicieron con el paquete “lme4” (Bates *et al*, 2019) de R.

$$\text{Ocupación} = a + b[\text{Abundancia}] + \text{Año} + \text{Mes} + \text{Especie}$$

$$\text{Año} \sim N(0, \sigma_{\text{Año}}^2), \text{ Mes} \sim N(0, \sigma_{\text{Mes}}^2), \text{ Especie} \sim N(0, \sigma_{\text{Especie}}^2), a = \text{Ordenada al origen } b = \text{Pendiente}$$

### 2.3.8 Modelo de abundancia a través del tiempo

El modelo de abundancia fue útil para determinar si la abundancia iba aumentando a través del tiempo. El modelo fue creado mediante una regresión generalizada en donde los factores aleatorios fueron la interacción del año por especie y por hábitat y como factor fijo el año, de modo que se veía así:

$$Abundancia = a + b[Año] + [Año|Especie * Hábitat]$$

$$a = ordenada\ al\ origen \quad b = Pendiente$$

Estos análisis se hicieron mediante el paquete “lme4” (Bates *et al*, 2019) de R.

## CAPÍTULO III

### 3. RESULTADOS

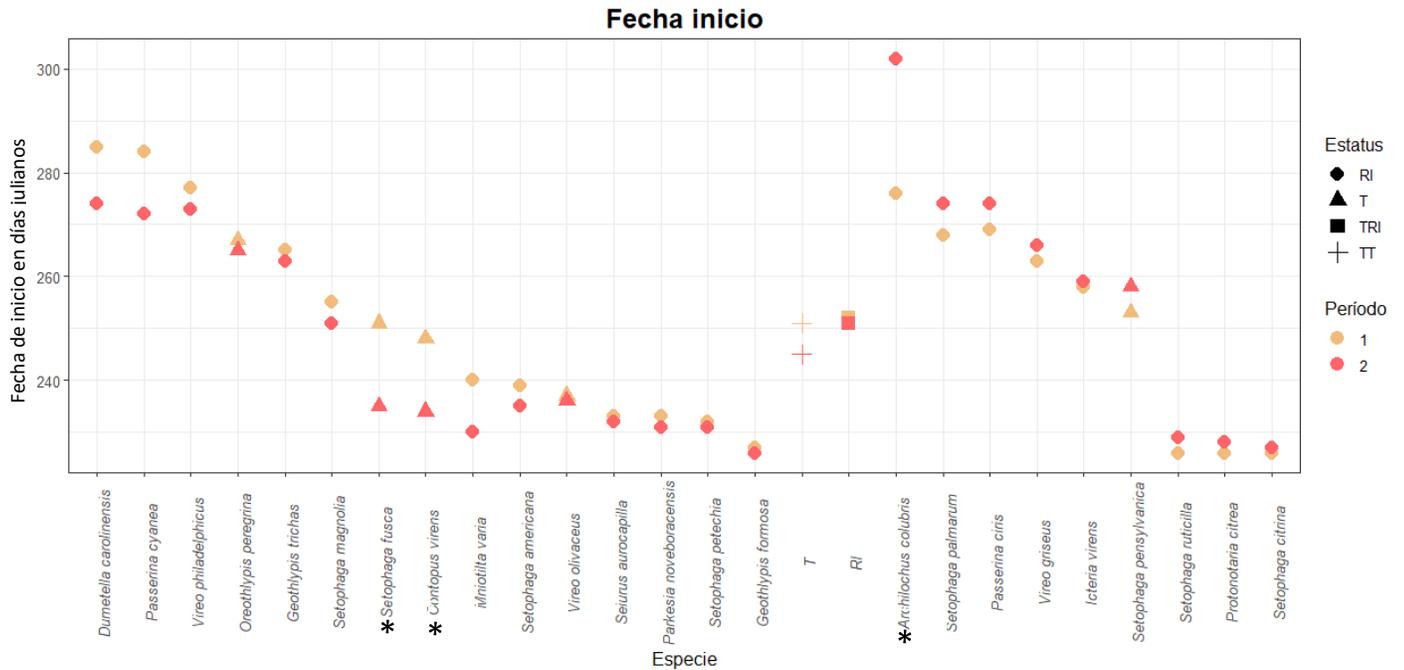
#### 3.1 Cambios en la fenología de las aves migratorias

Se debe aclarar qué para el análisis de las fechas de inicio y término se esperaba que solo una parte de las especies mostrara significancia. Ya que, no todas las especies presentaban el mismo número de fechas en el período uno y dos, lo que hizo difícil detectar diferencias significativas en especies que presentaron valores no tan lejanos entre sus fechas. Por lo que, a continuación, presentaremos las tendencias de las 24 especies muestreadas para brindar una perspectiva general de la fenología para las aves en la península.

##### 3.1.1 Fechas de inicio

Del total de especies estudiadas (24 especies) se encontró que *Archilochus colubris*, *Contopus virens* y *Setophaga fusca* presentaron fechas de inicio significativamente diferentes entre un período y otro de acuerdo a intervalos de confianza al 95% proporcionados por el modelo (Anexo 2).

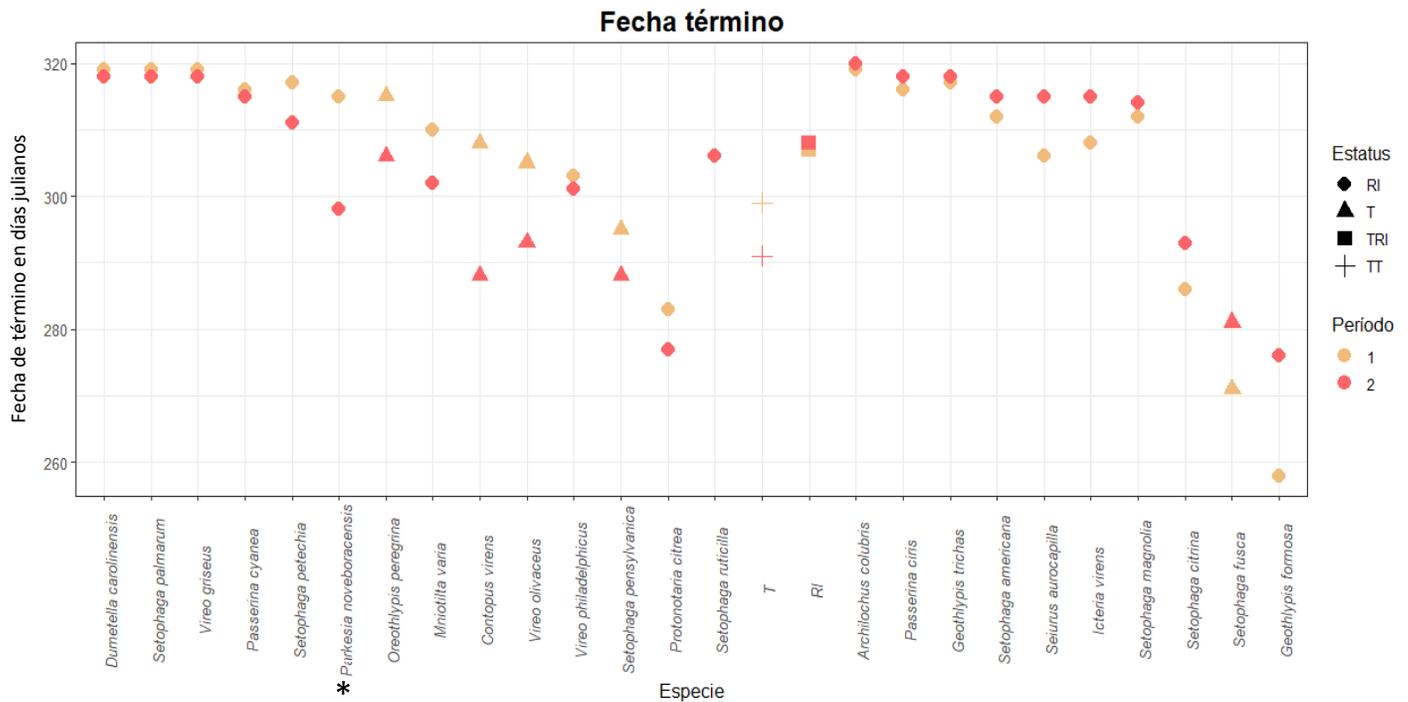
De manera general, el inicio del período migratorio se adelantó por 5.6 días (S.E.  $\pm$  1.3) para 15 especies y se atrasó por 5.7 días (S.E.  $\pm$  2.5) para 9 (Figura 6). Visto por grupos se encontró que las residentes invernales, conformado por 19 especies, 11 mostraron un adelanto por 4.7 (S.E.  $\pm$  1.2) días y 8 retrasaron su inicio por 5.8 días (S.E.  $\pm$  2.9). Por su parte las transeúntes, conformado por 5 especies, 4 especies presentaron adelantos de 8.2 días (S.E.  $\pm$  3.9) y solo *Setophaga pensylvanica* mostró un atraso por 5 días (Figura 6).



**Figura 6** Fechas de inicio de todas las aves migratorias registradas en los períodos 2001-2003 y 2016 - 2017. La palabra "Estatus" se refiere al tipo de migratoria, en donde RI: Residentes Invernales; T: Transeúntes; TRI: Promedio de fecha de inicio de todas las residentes invernales; TT: Promedio de fecha de inicio de todas las transeúntes; El asterisco\* marca que fue significativa.

### 3.1.2. Fechas de término

Las fechas de término de *Parkesia noveboracensis* resultaron ser significativamente diferentes entre un período y otro (Anexo 2). Por otro lado, tomando en cuenta a todas las especies se encontró que el término del período migratorio para 13 especies se adelantó por 7.0 días (S.E.  $\pm$  1.7), para 10 se atrasó por 6.0 días (S.E.  $\pm$  1.7) y solo *Setophaga ruticilla* mostró irse en ambos períodos en la misma fecha. Visto por grupos, 9 residentes invernales mostraron adelantar su fecha de término por 4.7 días (S.E.  $\pm$  1.8), 9 atrasaron esta fecha por 5.5 días (S.E.  $\pm$  1.8) y *S. ruticilla* llegó el día 306 en los dos períodos. En contraste, 4 transeúntes adelantaron su fecha de término por 12.0 días (S.E.  $\pm$  2.9) y solo *Setophaga fusca* atrasó esta fecha por 10.0 días (Figura 7).



**Figura 7** Fechas de término de todas las aves migratorias registradas en los períodos 2001- 2003 y 2016 - 2017. La palabra "Estatus" se refiere al tipo de migratoria, en donde RI: Residentes Invernales; T: Transeúntes; TRI: Promedio de fecha de término de todas las residentes invernales; TT: Promedio de la fecha de término de todas las transeúntes; El asterisco\* marca que fue significativa.

### 3.1.3. Duración del período migratorio

La duración promedio del período migratorio para todas las aves en el primer período fue de 54.04 días (S.E. ± 3.7) y para el segundo período fue de 54.25 días (S.E. ± 3.4). Esto visto por grupos, se observó que las residentes invernales mostraron una duración de 55.7 días (S.E. ± 4.1) en el período uno y 56.3 días (S.E. ± 4.1) en el período dos; por su parte, las transeúntes presentaron una duración de 47.6 días (S.E. ± 8.3) en el período uno y de 45.6 días (S.E. ± 4.8) en el período dos (Figura 8). Sin embargo, después de calcular la diferencia de duraciones entre los dos períodos se obtuvo que 12 especies redujeron su estancia por 8.9 días (S.E. ± 1.8) y las otras 12 aumentaron su estancia por 9.0 días (S.E. ± 2.05). De manera particular 11 residentes invernales aumentaron su duración por 7.4 días (S.E. ± 1.4) y 8 redujeron su estancia por 8.8 días (S.E. ± 2.7). Cuatro de las transeúntes redujeron su estancia por 9.0 días (S.E. ± 1.4) y solo *Setophaga fusca* mostró ampliar su estancia por 26 días (Figura 9).

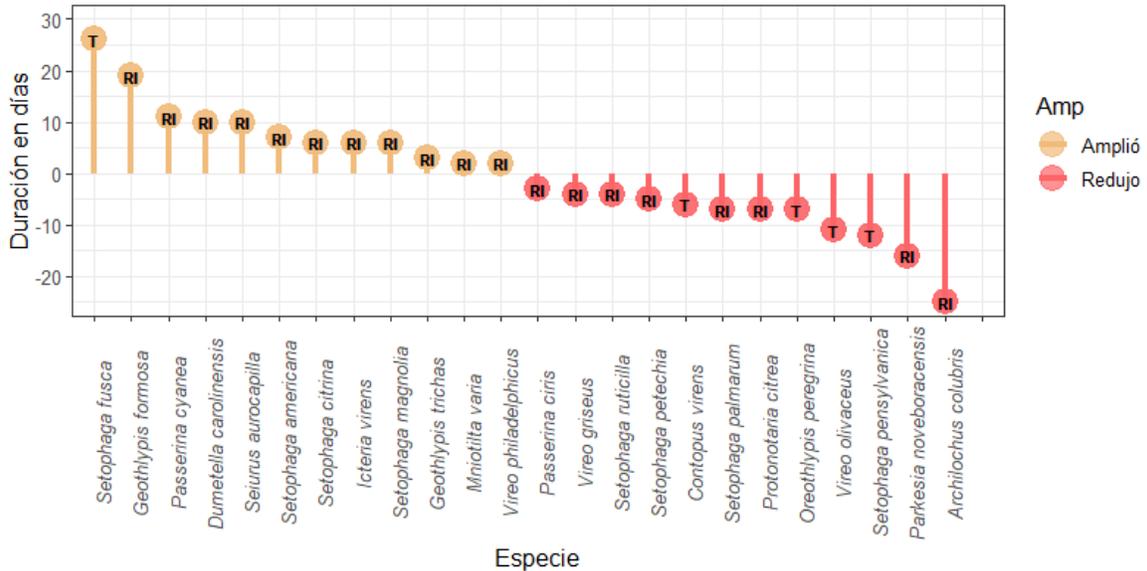


Figura 8 Promedio de la duración del periodo migratorio por grupos.

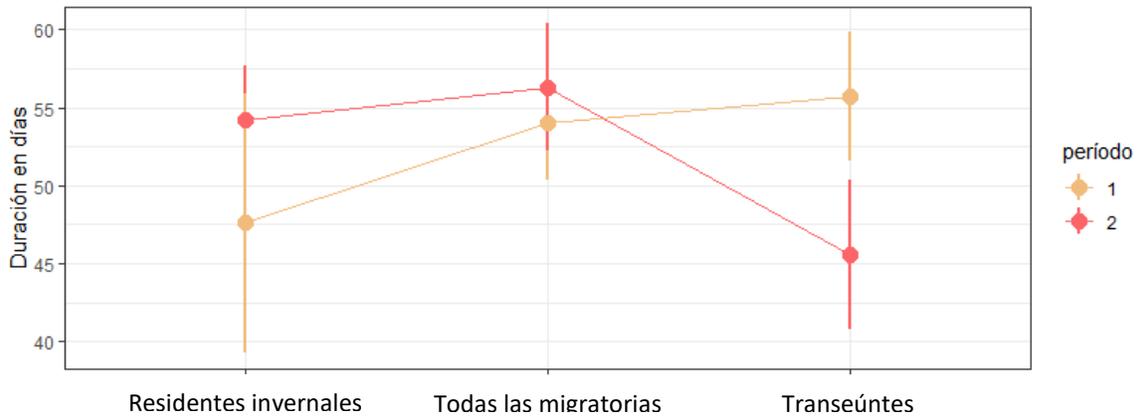
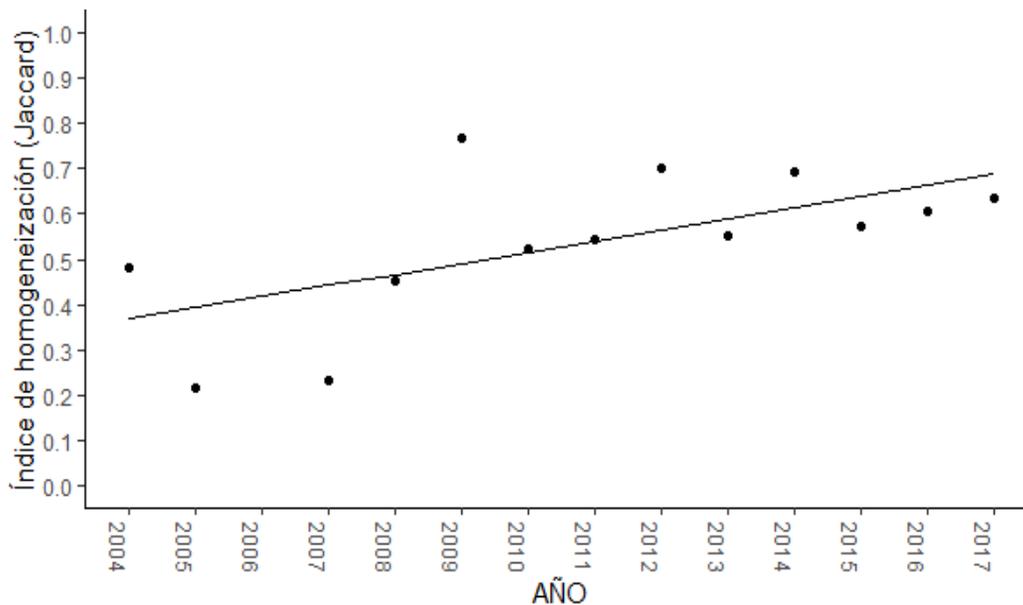


Figura 9 Especies que ampliaron y redujeron la duración de su período migratorio. T: Transeúntes; RI: Residentes Invernales.

### 3.2. Homogeneización a través del tiempo

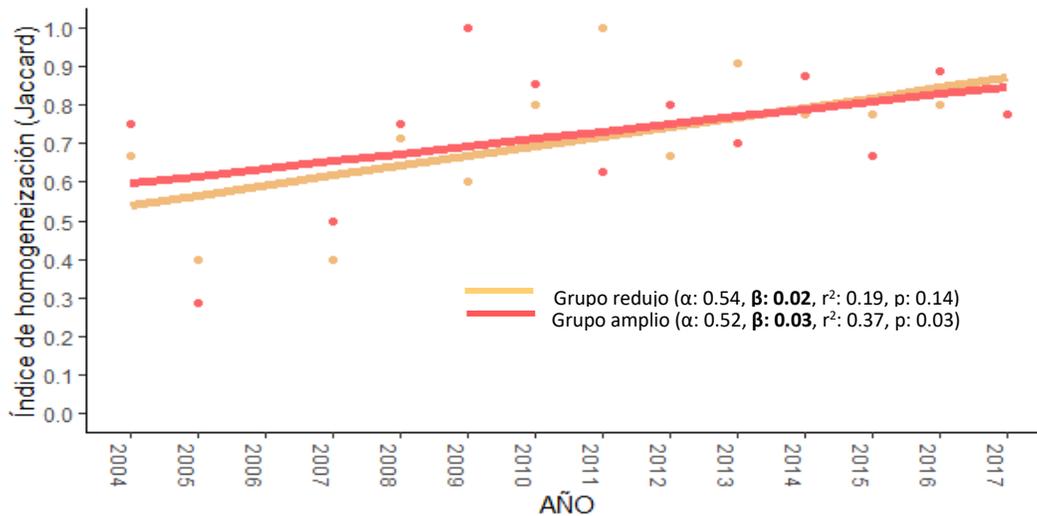
El índice de homogeneización con ayuda de la regresión lineal ayudó a visualizar la relación positiva de la homogeneización ( $\alpha$ : 0.34,  $\beta$ : 0.02,  $r^2$ : 0.38,  $p$ : 0.02) (Figura 10) a través de los 14 años de datos del ensamble de aves migratorias de la reserva. Es decir, mientras más pasa el tiempo la homogeneización va incrementando por 0.02 del índice de

homogeneización por año, el lector debe recordar que nuestro índice de homogeneización va de 0 a 1, en donde los números más cercanos a cero indican menor homogeneidad y los cercanos a 1 indican mayor homogeneidad. Lo que respecta a los grupos *amplio* y *redujo*, de igual manera mostraron una relación positiva en la homogeneización a través del tiempo, solamente, que el grupo *amplió* ( $\alpha: 0.52$ ,  $\beta: 0.03$ ,  $r^2: 0.37$ ,  $p: 0.03$ ) mostró una mayor  $r^2$  a comparación de *redujo* ( $\alpha: 0.58$ ,  $\beta: 0.02$ ,  $r^2: 0.19$ ,  $p: 0.14$ ) (Figura 11).



**Figura 10** Modelo de homogeneización a través del tiempo para todas las especies migratorias. ( $\alpha: 0.34$ ,  $\beta: 0.02$ ,  $r^2: 0.38$ ,  $p: 0.02$ )

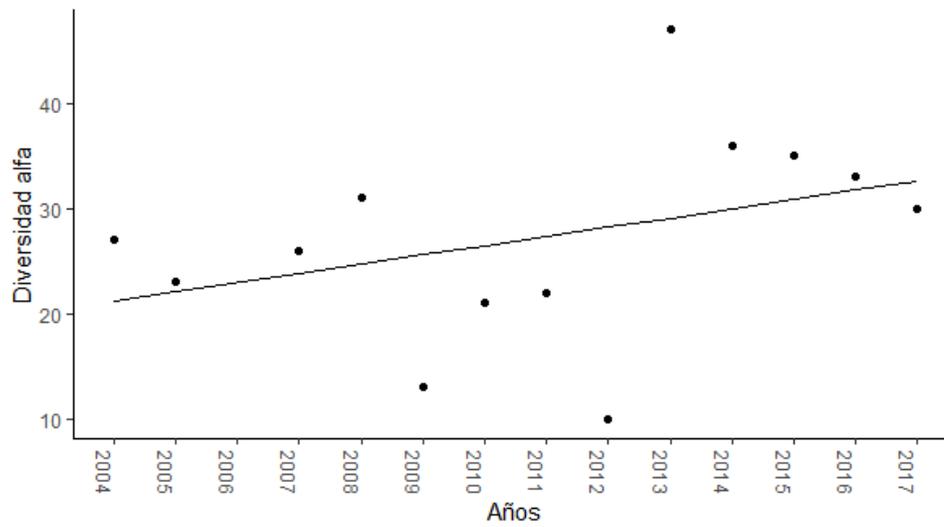
Los intervalos de confianza generados al 95% de las pendientes por los grupos seleccionados al azar incluyeron las pendientes de los grupos *amplio* y *redujo* (Figura 11). El resultado indica que si se crea un grupo de 12 especies al azar o si se utilizan las especies que ampliaron o redujeron su duración darían una respuesta similar, puesto que las pendientes son casi iguales en ambos casos. Por lo tanto, es muy probable que los cambios en la homogeneización no sean producto del cambio en la fenología.



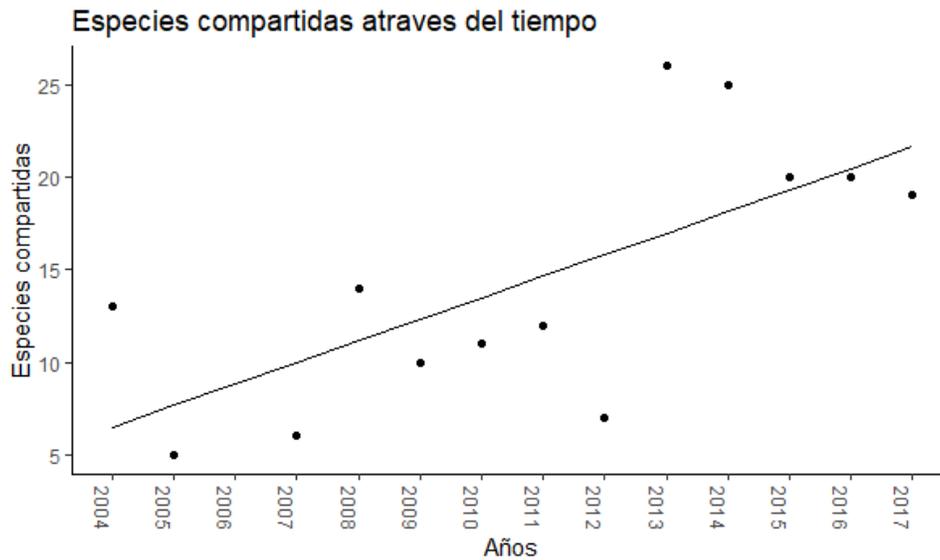
**Figura 11** Modelos de homogeneización a través del tiempo para los grupos *amplio* y *redujo* con pendiente. Los puntos indican el valor del índice de homogeneización por año para el grupo *amplio* y *redujo*. Estos grupos fueron producto de los resultados obtenidos para la homogeneización en donde se obtuvo especies que redujeron (grupo *redujo*) su estancia y otras que la ampliaron (grupo *amplio*). Los intervalos de confianza generados al 95% al azar fueron de ( $\beta$ : 0.013 – 0.03)

### 3.2.2. Obtención de especies compartidas a través del tiempo

De acuerdo al modelo para la diversidad  $\alpha$ , encontramos que a través del tiempo se ha mantenido ( $\alpha$ : 20.35,  $\beta$ : 0.88,  $r^2$ : 0.06,  $p$ : 0.22) (Figura 12). En lo que refiere al número de especies compartidas a través del tiempo, se observó que aproximadamente por año se suma una especie compartida ( $\alpha$ : 5.35,  $\beta$ : 1.16,  $r^2$ : 0.43,  $p$ : 0.01) (Figura 13).



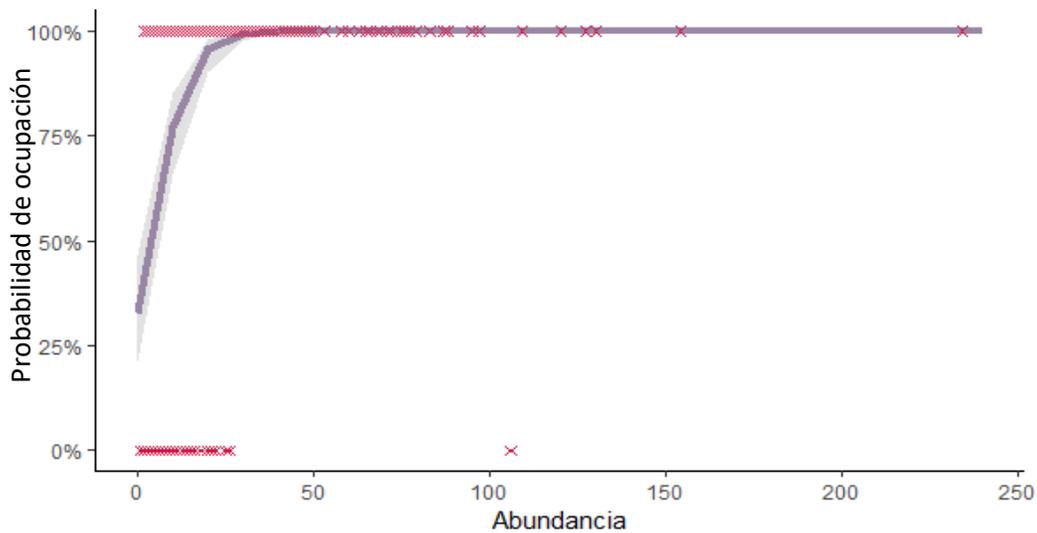
**Figura 12** Modelo de diversidad alfa a través del tiempo. ( $\alpha$ : 20.35,  $\beta$ : 0.88,  $r^2$ : 0.06,  $p$ : 0.22). Los puntos indican el valor de alfa por año.



**Figura 13** Modelo de especies compartidas a través del tiempo. ( $\alpha$ : 5.35,  $\beta$ : 1.16,  $r^2$ : 0.43,  $p$ : 0.01). Los puntos indican las especies compartidas por año.

### 3.2.3. La abundancia y la homogeneización

Se encontró que la presencia de las especies en más de un hábitat está relacionada positivamente con la abundancia ( $\alpha$ : -0.73\*,  $\beta$ : 0.19\*,  $p < 0.01$ , [\*cifras en logit]) (Figura 14). Asimismo, la probabilidad de que un ave esté presente en más de un hábitat varía más entre especies ( $\sigma$ : 0.78) que entre años ( $\sigma$ : 0.55) y en menor cantidad entre meses ( $\sigma$ : 0.00001).

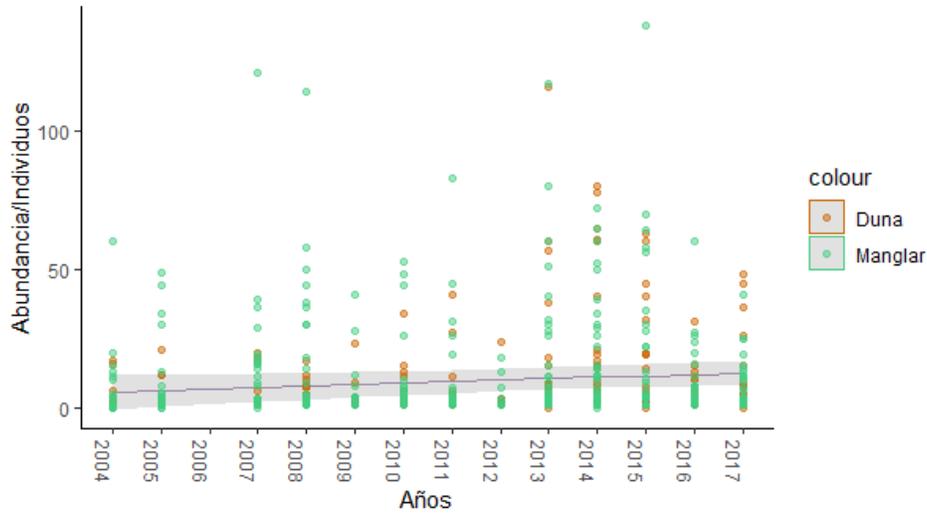


**Figura 14** Probabilidad de estar en más de un hábitat con relación a la abundancia. En donde las equis es la representación de los datos, en donde los 0 es ausencia y el 100 es presencia en más de un sitio. La línea morada es la representación del modelo que se obtuvo, representado en probabilidad de ocupación. (Los valores logit fueron convertidos para realizar la gráfica, mediante el paquete sjPlot en r.)

### 3.2.4. Modelo de abundancia a través del tiempo

Se encontró que a través del tiempo la abundancia de individuos pareciera dibujar una tendencia positiva ( $\alpha$ : 5.13,  $\beta$ : 0.53,  $p > 0.05$ ), sin embargo, al no tener un modelo estadísticamente significativo, esta tendencia podría ser producto del azar u otras variables. Por otro lado, cuando se observa la variación de la pendiente con año, sucede que el año varía más entre especies dentro del hábitat ( $\sigma$ : 1.43) que entre hábitats ( $\sigma$ : 0.21). No obstante, la mayoría de la variación en la pendiente está explicada por especie y no por el hábitat.

Asimismo, el intercepto (la abundancia en el año 0) también varía más entre especies ( $\sigma$ : 8.98) que entre hábitats ( $\sigma$ : 4.02). Sin embargo, la mayoría de la variación en total no está explicada por especie, hábitat, ni año, sino por la variación residual ( $\sigma$ : 13.84) (Figura 15).



**Figura 15** Modelo de abundancia. Cada punto indica el número de individuos registrados por año por cada hábitat. La línea gris es la pendiente obtenida para el modelo ( $\alpha$ : 5.1343,  $\beta$ : 0.5299,  $p > 0.05$ ).



## CAPÍTULO IV

### 4. DISCUSIÓN

Cuando se habla de fenología de las aves es difícil poder llegar a un acuerdo de lo que verdaderamente está ocurriendo, puesto que en algunos sitios los cambios en la fenología están sucediendo (Barton y Sandercock, 2018; Lehtikoinen y Jaatinen, 2012; Thorup *et al*, 2007; Studds y Marra, 2007) mientras que en otros simplemente no son evidentes (MacMynowski y Root, 2007; Van Buskirk *et al*, 2009, Cohen *et al*, 2015), ya que estos cambios son multifactoriales (Gordo, 2007). Así pues, la avifauna de distintas regiones geográficas puede mostrar diferentes patrones fenológicos (Jones y Cresswell, 2010). Lo anterior implica que, el patrón fenológico de las aves migratorias en las zonas templadas pudiese ser diferente al de los trópicos. Pero, para poder comprender dicha diferencia es necesario recabar información para ambas regiones y así esclarecer los patrones que conforman cada una de ellas. Sin embargo, la información hasta el momento no es equitativa para cada región, puesto que existen más estudios realizados para el período migratorio de primavera en zonas templadas, que en el período migratorio de otoño en los trópicos (Gallinat *et al*, 2015; Lehtikoinen *et al*, 2014). En la reserva de Ría Lagartos ubicado dentro del neotrópico, se encontró principalmente que 1) las aves migratorias mostraron una tendencia al cambio fenológico: La mayoría de las especies adelantaron sus fechas de inicio y fechas de término, además, la mitad de ellas presentó un aumento en la duración de su estancia mientras que la otra mitad presentó una reducción sin importar que fueran especies residentes de invierno o transeúntes. 2) La composición de aves en el matorral de duna costera y manglar se ha vuelto más similar a través del tiempo, sin embargo, no es consecuencia del cambio en la fenología ni por la pérdida de especies.

#### 4.1. Cambios en la fenología

Se encontraron tendencias variables dentro de las 24 especies estudiadas, una gran porción adelantó su fecha de inicio (15 especies) y término (13 especies), en donde la mitad de las especies aumentó su duración de estancia y la otra la redujo. Esta disparidad en las respuestas en sus fechas de inicio, término o duración entre especies se ha reportado en otro estudio que apunta que la posible causa de esto era producto de los cambios en el clima (Barton y Sandercock, 2018), así como otros autores lo han sugerido (Lehtikoinen,

2004; Van Buskirk *et al*, 2009). Sin embargo, se ha observado que la respuesta fenológica en las especies podría estar influenciada por otros factores además del clima, por lo cual no es extraña la variabilidad de respuestas entre especies (Mason *et al*, 2019). Algunos factores además del clima que influyen en la respuesta fenológica, son los rasgos ecológicos como la dieta, número de crías, preferencia del hábitat y comportamiento migratorio (Rubolini *et al*, 2010; Buckley y Kingsolver, 2012). Una dieta y uso del hábitat amplio facilita a que las especies muestren un menor cambio en su distribución geográfica y fenología, ya que no se restringen por la distribución geográfica o fenología de las especies con las que se pudieran asociar (Buckley y Kingsolver, 2012). Por otro lado si la progenie y comportamiento migratorio cambian (como distancia de vuelo, estrategia migratoria, etc.) tienden a afectar de manera diferente a las fechas de término en los sitios reproductivos y a las fechas de inicio en los sitios de otoño e invierno (Moller *et al*, 2008; Végvári *et al*, 2010). Tomando en consideración lo anterior, se debe señalar que la respuesta fenológica por especie es variable y afecta de manera distinta a todas las especies, por lo cual, se hará énfasis en las especies que mostraron significancia en alguna de sus fechas y cada especie será abordada de manera individual. No obstante, no quiere decir que las especies que no fueron significativas no puedan estar utilizando muchas de las estrategias de las que vamos a mencionar para las significativas, ya que, la mayoría de estas especies pertenecen a la familia Parulidae y casi todas son del orden Passeriforme a excepción de *A. colubris*.

De las 24 especies, solo cuatro mostraron significancia en sus fechas de inicio o término. En la fecha de inicio podemos encontrar que *Archilochus colubris* la atrasó, mientras *Contopus virens* y *Setophaga fusca* la adelantaron. Por último, *Parkesia noveboracensis* fue la única especie que mostró una fecha de término adelantada. Cuando analizamos estas especies por grupo de transeúntes (*C. virens* y *S. fusca*) y residentes invernales (*A. colubris* y *Parkesia noveboracensis*), encontramos que contrario a nuestras expectativas las transeúntes no mostraron una fecha de término significativa y una residente de invierno si, lo cual podría deberse a que esta especie invernale, *P. noveboracensis*, esté pasando menor tiempo en la zona costera de la reserva, lo cual coincide con el comportamiento general de las aves migratorias en sitios de parada cercanos a la costa, las cuales en su mayoría utilizan estos sitios como puntos energéticos, en donde las aves se quedan menor tiempo en ellos dependiendo de la energía que necesiten recuperar (Yong y Moore, 1997),

así pues, probablemente las especies tardan menos ya sea porque no necesitan recuperar mucha energía o simplemente porque los recursos del área son bastos, permitiéndoles recuperar más rápido esta energía (Paxton y Moore, 2015).

#### *Archilochus colubris*

*A. colubris* fue la especie que tuvo un cambio más marcado en su fecha de inicio lo que repercutió en la reducción de su estancia. En distintos estudios se ha señalado que el cambio en su fecha de inicio es debido a los siguientes factores: 1) la estrategia migratoria para cruzar el Golfo de México, ya que las especies que vuelan sobre el Golfo tienden a llegar antes a sus sitios destino, contrario a los individuos que prefieran costear el Golfo (Zenzal *et al*, 2018a, 2018b; Deppe *et al*, 2015). Se ha sugerido por Zenzal *et al*, 2018b que *A. colubris* utiliza la estrategia de costear el Golfo de México y forrajear mientras vuela. Esta técnica consiste en ir avanzando hacia su destino mientras continuamente se reabastecen de alimento, lo que implica que su vuelo sea lento a lo largo de la costa del Golfo de México (Zenzal *et al*, 2018b; Kokko, 1999). Además, se ha reportado que *A. colubris* suele pasar un día entero en comedores artificiales cuando las flores escasean (Zenzal *et al*, 2018b), lo que hace que su viaje migratorio sea más lento y retrase la llegada a su destino. 2) La termorregulación, puesto que, cuando presentan un costo bajo de termorregulación tienden a tener fechas de inicio adelantadas lo que les permite compensar una baja producción de algún sitio y seguir llegando antes a sus sitios de destino (Graham *et al*, 2016); 3) la edad, en donde las aves con mayor experiencia llegan antes posiblemente por brindar menos cuidado parental a sus polluelos, ser más rápidos, más hábiles en la obtención de alimento, entre otras que lleva a que los más jóvenes e inexpertos lleguen después; y 4) al sexo, ya que los machos por lo general presentan una mayor longitud en sus alas lo que les da ventaja de llegar antes que las hembras (Zenzal y Moore, 2016).

#### *Contopus virens* y *Setophaga fusca*

*C. virens* y *S. fusca* se encuentran dentro de los grupos de especies de vuelo largo, ya que sus sitios de invierno se encuentran en América del sur. Así pues, algunos estudios han encontrado que las fechas de inicio de las especies de vuelo largo suelen adelantarlas bajo dos situaciones: 1) Tiempo de cuidado parental, se ha encontrado que las especies que tienen una cría adelantan sus fechas de inicio en sus sitios de otoño, ya que su período

reproductor puede ser más corto a comparación de las especies que tienen más de una cría (Moller *et al*, 2008; Végvári *et al*, 2010; Jenni y Kéry, 2003); y por 2) la presión en la obtención de hábitats de alta calidad en invierno, se ha observado que los individuos que llegan antes a sus sitios de invierno tienen mayor ventaja de conseguir hábitats de alta calidad (hábitats con condiciones óptimas de alimento, protección, entre otros), característica que les es útil para un mejor resultado en su período reproductivo (Reudink *et al*, 2009).

En cuanto a la duración en su estancia *C. virens* mostró quedarse menor tiempo y *S. fusca* quedarse un poco más. La duración en su estancia podría estar ligada a la obtención de alimento, puesto que se ha encontrado que en sitios con mayor recurso las aves suelen estar menor tiempo y en sitios con menor recurso suelen quedarse más tiempo (Paxton y Moore, 2015; Buler *et al*, 2007). Sin embargo, esto no explicaría del todo porque una se queda más y la otra menos, pero esto podría ser explicado por su técnica para conseguir alimento. Se ha observado que las especies de larga distancia pueden mostrar dos comportamientos a la hora de conseguir alimento: 1) utilizar los recursos disponibles a simple vista, lo que les permite utilizar menos energía y ser breves en estos sitios y 2) aventurarse a explorar el área y obtener su alimento preferido, lo que les hace invertir más tiempo y energía en estos sitios (Slager *et al*, 2015). El que estrategia a utilizar, dependerá de su energía disponible, preferencia del hábitat y del tiempo que dispongan para llegar a su sitio de destino (Slager *et al*, 2015).

#### *Parkesia noveboracensis*

*Parkesia noveboracensis* es una residente invernal que prefiere estar en el manglar o hábitats húmedos (Wunderle y Waide, 1993). A pesar de su preferencia por el manglar, *P. noveboracensis* mostró una fecha de término adelantada, esto puede ser producto de tres causas: 1) La exploración de otros sitios, se ha documentado que esta especie al encontrarse en su hábitat preferido con la cantidad necesaria de alimento para sobrevivir, realiza una evaluación rápida del sitio para posteriormente quedarse en el sitio más conveniente (Slager *et al*, 2015); 2) la migración, en un estudio realizado en un sitio de invierno, señalan que estas aves suelen dejar los sitios como el manglar debido al paso de las especies transeúntes, prefiriendo hábitats húmedos o de manglar maduro (Hunt *et al*, 2005); y 3) el nivel de inundación del manglar, se ha encontrado en otros estudios que la

densidad de individuos de *P. noveboracensis* suele bajar cuando el manglar se encuentra inundado y aumenta cuando el nivel del agua es estable (Hunt *et al*, 2005; Reitsma *et al*, 2002).

Como se expuso anteriormente, las razones por las cuales las especies pueden mostrar una variación en su fenología son diversas. Sin embargo, sabemos que las respuestas fenológicas pueden ser “positivas”, “negativas” o “sin cambios” dependiendo de cómo repercutan a sus características poblacionales como el tamaño poblacional, rangos geográficos, tasa reproductiva, tasa de supervivencia, masa corporal entre otros (Pacifici *et al*, 2017). Generalmente en la literatura encontramos que para las especies de vuelo largo los cambios en su fenología han repercutido negativamente en su éxito reproductivo (Drake *et al*, 2014; Vansteelant *et al*, 2015; La Sorte y Fink, 2016), y en su tamaño poblacional (Both *et al*, 2006; Sparks *et al*, 2007; Saino *et al*, 2011; Moller *et al*, 2008), mientras para otras especies no parecieran mostrar cambios aun este rubro (MacMynowski y Root, 2007; Van Buskirk *et al*, 2009, Cohen *et al*, 2015). Por lo anterior es importante seguir conociendo más sobre las respuestas que pudieran estar mostrando las especies que pasan el otoño por la península, ya que una gran parte de ellas se les considera dentro del grupo de especies de vuelo largo.

#### **4.2. Homogeneización a través del tiempo**

Los resultados mostraron que la composición de las aves migratorias en hábitats de matorral de duna costera y manglar se han vuelto más similares a través del tiempo, sin que este cambio esté relacionado con el cambio en la fenología de aves, como habíamos propuesto. Se ha encontrado que para la comunidad de aves el proceso de homogeneización está presente, sin embargo, la mayoría de los estudios lo han vinculado en relación con la invasión de especies no nativas y urbanización (McKinney and Lockwood, 1999; Blair, 2001, 2004, 2008; Crooks *et al*, 2004; Cleavageau *et al*, 2006; Vázquez-Reyes *et al*, 2017), así como pérdida del hábitat, cambio de uso de suelo y perturbaciones aledañas (Crooks *et al*, 2004; Cleavageau *et al*, 2006). La península de Yucatán, desde hace un par de décadas ha enfrentado la pérdida de hábitats costeros (Durán *et al*, 2010), hábitats de gran importancia para muchas especies migratorias en otoño que utilizan este lugar como sitio de parada (Cohen *et al*, 2017) y para otras como sitio de descanso en invierno (Deppe y Rontenberry, 2008). Algunos estudios mencionan que la pérdida de

hábitat en muchos de los casos, lleva a distintas especies a expandir sus rangos de distribución, ocasionado que las especies localmente abundantes y con rasgos ecológicamente plásticos ocupen más sitios (La Sorte y Boecklen, 2005; Vázquez-Reyes *et al*, 2017). A su vez provoca que una mayor densidad de especies que habitaban el hábitat perdido vaya a consumir en las áreas aledañas restantes (Dolman y Sutherland, 1994). Al aumentar el número de individuos en áreas aledañas podría estar dando pie a que las áreas aledañas contengan las mismas especies de aves con el tiempo. En este estudio, se encontró que aproximadamente se necesitan casi 50 individuos para que la comunidad de aves empiece a presentarse en hábitats aledaños y el número de individuos con el tiempo ha aumentado en el matorral de duna costera y manglar. Sin embargo, hace falta más información de la manera en cómo este aumento de individuos podría responder con la pérdida del hábitat y conocer si de alguna manera esto pudiera llevar a que la comunidad de aves se vuelva homogénea en el tiempo.

#### **4.3. Cambios en la fenología y homogeneización**

El objetivo principal de este trabajo se centró en responder si los cambios fenológicos en las aves estaban ocasionando una homogeneización en la Reserva de la Biosfera de Ría Lagartos. Suponiendo que cuando la estancia fuera más corta tendríamos más individuos, los cuales mediante el mecanismo de denso-dependencia nos llevarían a una homogeneización. Sin embargo, no encontramos respaldo de esta relación, por lo que deducimos que la abundancia no impacta directamente sobre el tiempo de estancia, rompiendo así el vínculo que se creía que existía entre los cambios fenológicos y la homogeneización. Por esta razón, se infiere que ambos procesos son conducidos por diferentes variables, como pueden ser la precipitación y pérdida del hábitat (Studds y Marra, 2007; Norris, 2005; Paxton y Moore, 2015). No obstante, existe la posibilidad de que compartan una variable que desencadene ambos procesos. Nosotros proponemos que la variable faltante pudiera ser la pérdida del hábitat en asociación con la calidad de los hábitats. La calidad del hábitat para las aves depende del estado de los determinantes ecológicos como los recursos alimenticios, competencia inter e intra específicas, depredación y enfermedad. Sin embargo, el de mayor relevancia es la disponibilidad de alimento (Sherry y Holmes, 1996). Se ha encontrado que en sitios de invierno en donde se pierden hábitats de alta calidad, muchos individuos comienzan a ocupar sitios de baja

calidad los cuales actúan como sumideros, lo que podría desencadenar mecanismos de denso-dependencia (Norris, 2005), de esta manera el número de especies compartidas entre hábitats aledaños aumenta. El aumento de individuos en sitios de baja calidad retrasa las fechas de término de muchas especies debido a la escasez de alimento repercutiendo en un aumento en su estancia (Paxton y Moore, 2015). Así pues, aún faltan estudios que aborden estos temas en conjunto para poder tener una certeza de que en realidad están sucediendo todos estos procesos al mismo tiempo. A pesar de que falta mucho por investigar, este estudio aportó que hay cambios en la fenología de las aves y que los hábitats costeros dentro de la reserva están sufriendo homogeneización, ahora, solo queda apostar por trabajos que nos lleven a desenmarañar las variables que conducen estos procesos en los trópicos y determinar si llegan a unirse.



## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

#### 5.1. Conclusiones

La fenología de algunas especies estudiadas en la reserva mostró una tendencia de adelanto en sus fechas de inicio y término. Además, la mitad de las especies presentó un aumento en su estancia, mientras que la otra mitad mostró una reducción. También, se determinó que los cambios fenológicos no son detonantes de la homogeneización presentada en la reserva. De esta manera, damos a conocer que estos procesos son liderados por factores diferentes. Sin embargo, proponemos que existe la probabilidad de que haya una variable que inicie ambos procesos, como la pérdida del hábitat en conjunto con la calidad del hábitat. Por último, es importante seguir haciendo más trabajos en el período migratorio de otoño para tener perspectivas más claras de lo que sucede con las aves, no solo en su fenología sino en todos los aspectos que las rodean.

#### 5.2. Perspectivas

Este trabajo aportó un panorama general de lo que está ocurriendo en la fenología y homogeneización en una parte de la península de Yucatán. Sin embargo, sería importante tener más detalles al respecto de cada uno de estos procesos. Por lo cual, en un futuro sería importante considerar tener una base de datos que tome en cuenta ambas temporadas migratorias, puesto que de esta manera se tendría una perspectiva completa de la vida de las aves. A su vez, en el futuro podrían medirse las interacciones con otras variables como las climáticas, principalmente la precipitación y temperatura, ya que son las que más han mostrado tener importancia en otros estudios. Además, al tomarse en cuenta estas variables climáticas sería posible conocer cuál de las dos variables afecta en mayor medida a las zonas templadas y tropicales. Por otra parte, la pérdida del hábitat y su calidad, son variables que pueden vincularse con la tendencia de aumento en la abundancia de individuos en la reserva, falta hacer el análisis de si en realidad hemos perdido puntos importantes en la península y si esto podría estar llevando a que un mayor número de aves utilicen otros puntos de conservación como la reserva, reflejándose en el aumento de la

abundancia. De esta manera, cada una de estas variables podría poner a prueba su relación con los procesos de cambios fenológicos y homogeneización, y si de alguna manera alguna de las variables anteriores sirva como una conexión entre los dos procesos anteriores. Al mismo tiempo tendríamos una imagen más amplia de los patrones que se llevan a cabo durante todo el ciclo de vida de las aves.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Allen Orr, H. (2007). Absolute fitness, relative fitness and utility. *Evolution* 61(12): 2997 – 3000.
- Anthes N. (2004). Long-distances migration timing of *Tringa* sandpipers adjusted to recent climate change. *Bird study*. 51:3, 203 – 211.
- Barton, G., y B. Sandercock. (2018). Long-term changes in the seasonal timing of landbird migration on the Pacific Flyway. *The Condor* 120: 30-46.
- Bates, D., M. Maechler, B. Bolker, S. Walker, R.H.B. Christensen, H. Singmann, F. Scheipl, G. Grothendieck, P. Green y J. Fox. (2019). Package lme4. <https://cran.r-project.org/web/packages/lme4/lme4.pdf>
- Berlanga H. y V. Rodríguez. (2010). Las aves migratorias: a prueba de muros. *Especies* 19: 16-24.
- Berthold, P. (1996). *Control of Bird Migration*. Chapman and Hall, London, 355pp.
- Blair, R. B. (2001). Birds and Butterflies Along Urban Gradients in Two Ecoregions of the United States: Is Urbanization Creating a Homogeneous Fauna? En J. L. Lockwood y M. L. Mckinney (Eds.), *Biotic homogenization* (pp. 33–56). New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- Blair, R. B. (2004). The Effects of Urban Sprawl on Birds at Multiple Levels of Biological Organization. *Ecology and society*, 9: 2–22.
- Blair, R.B. y E.M. Johnson. (2008). Suburban habitats and their role for birds in the urban – rural habitat network: points of local invasion and extinction? *Landscape Ecology*, 23: 1157–1169.
- Both, C., A.V. Artemyev, B. Blaauw, R.J. Cowie, A.J. Dekhuijzen, T. Eeva, A. Enemar, L. Gustafsson, E.V. Ivankina, A. Jarvinen, N.B. Metcalfe, N.E.I. Nyholm, J. Potti, P. Ravussin, J.J. Sanz, B. Silverin, F.M. Slater, L.V. Sokolov, J. Torok, W. Winkel, J. Wright, H. Zang y M.E. Visser. (2004). Large-scale geographical variation confirms that climate change causes birds to lay earlier. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 271: 1657-1662.

- Both, C., S. Bouwhuis, C.M. Lessells y M.E. Visser. (2006). Climate change and population declines in a long-distance migratory bird. *Nature*, 441: 81–83.
- Bradley, N., C. Leopold, J. Ross y W. Huffaker. (1999). Phenological changes reflect climate change in Wisconsin. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 96: 9701 – 9704.
- Buckle, L.B. y J.G. Kingsolver. (2012). Functional and phylogenetic approaches to forecasting species' responses to climate change. *The annual review of ecology, evolution, and systematics*, 43: 205 – 260.
- Buler, J.J., F.R. Moore, S. Woltmann. (2007). A multi-scale examination of stopover habitat use by birds. *Ecology*, 88 (7): 1789 – 1802.
- Calderón-Patrón, J., C. Moreno y I. Zuria. (2012). La diversidad beta: medio siglo de avances. *Revista Mexicana De Biodiversidad*, 83: 879-891.
- Cepeda González, M.F. (2012). Monitoreo para la conservación: Ensamble de aves de la Reserva de la Biósfera Ría Lagartos. Tesis de doctorado. El Colegio de la Frontera Sur, Campeche.
- Chiriguchi, S., y L. Salinas-Peba. (2017). Estado de conservación de la vegetación. En J. Ramos-Zapata, V. Tabla-Parra, J. Leirana-Alcocer, A. González-Moreno y X. Chiappa-Carrara, *Ecología funcional de la Reserva de la Biósfera Ría Lagartos* (1st ed., pp. 41 - 67). Mérida, Yucatán: SIIES, UADY, UNAM, CONANP, CONACYT, prodep.
- Clergeau, P., S. Croci, J. Jokimäki, M.L. Kuisanlahti-Jokimäki y M. Dinetti. (2006). Avifauna homogenisation by urbanisation: Analysis at different European latitudes. *Biological Conservation*, 127: 336–344.
- Cohen, E.B., F.R. Moore. (2014). Fuel stores, time of spring, and movement behaviour influence stopover duration of Red-eye vireo *Vireo olivaceus*. *Journal of ornithology*, 155: 785 – 792.
- Cohen, E.B., Z. Németh, T.J. Zenzal, K.L. Paxton, R. Diehl, E.H. Paxton y F.R. Moore. (2015). Spring resource phenology and timing of songbird migration across the Gulf of Mexico. Pp. 63–82 En: E.M. Wood and J. L. Kellermann (editors), *Phenological synchrony and bird*

migration: changing climate and seasonal resources in North America. *Studies in Avian Biology* (no. 47), CRC Press, Boca Raton, FL.

Cohen E., W. Barrow, J. Buler, J. Deppe, A. Farnsworth, P. Marra, S. McWilliams, D. Mehlman, R. Randy Wilson, M. Woodrey y F. Moore. (2017). How do en route events around the Gulf of Mexico influence migratory landbird populations? *The Condor* 119: 327-343.

CONANP (Comisión Nacional de Áreas Protegidas). (2007). Programa de conservación y manejo de la Reserva de la Biosfera de Ría Lagartos. México.

CONANP (Comisión Nacional de Áreas Protegidas). (2010). Monitoreo de Aves en la Reserva de la Biosfera Ría Lagartos. Mérida.

Cornelius, J., T. Boswell, S. Jenni-Eiermann, C. Breuner y M. Ramenofsky. (2013). Contributions of endocrinology to the migration life history of birds. *General and Comparative Endocrinology*, 190: 47-60.

Crick, H. (2004). The impact of climate change on birds. *British ornithologists Union, Ibis*. 146 (Suppl.1): 48 – 56.

Crooks, K. R., A.V. Suarez y D.T. Bolger. (2004). Avian assemblages along a gradient of urbanization in a highly fragmented landscape. *Biological Conservation*, 115: 451–462.

Dawson, A., V.M. King, G.E. Bentley, G.F. Ball. (2001). Photoperiodic control of seasonality in birds. *Journal of Biological Rhythms* 16: 365–380.

Del Moral, J. y V. Escandell. (2012). Cambia el paisaje, cambia el clima, cambian las aves. *Aves y Naturaleza*, 11: 6-11.

Deppe, J. L. y J.T. Rotenberry. (2005). Temporal patterns in fall migrant communities in Yucatan, Mexico. *The condor*, 107: 228–243.

Deppe, J., y J. Rotenberry. (2008). Scale-dependent habitat use by fall migratory birds: vegetation structure, floristics, and geography. *Ecological Monographs*, 78: 461-487.

Deppe, J. L., M.P. Ward, R.T. Bolus, R.H. Diehl, A. Celis-Murillo, T.J. Zenzal, F.R. Moore, T.J. Benson, J.A. Smolinsky, L.N. Schofield, D.A. Enstrom, E.H. Paxton, G. Bohrer, T.A.

- Beveroth, A. Raim, R.L. Obringer, D. Delaney y W.W. Cochran. (2015). Fat, wather, and ldate affect migratory songbirds' departure deciosions, routes, and time it takes to cross the Gulf of Mexico. *Proceedings of the National Academy of Science of America*, 112: E6331–E6338.
- Devictor, V., R. Julliard, J. Clavel, F. Jiguet, A. Lee y D. Couvet. (2008). Functional biotic homogenization of bird communities in disturbed landscapes. *Global Ecology and Biogeography*, 17: 252–261.
- Diggs, N. E., P.P. Marra y R.J. Cooper. (2011). Resource limitation drives patterns of habitat occupancy during the nonbreeding season for an omnivorous songbird. *The Condor*, 113: 646–654.
- Dingle, H., y V.A. Drake. (2007). What Is Migration? *BioScience*, 57: 113–121.
- Drake, A., C.A. Rock, S.P. Quinlan, M. Martin y D.J. Green. (2014). Wind speed during migration influences the survival, timing of breeding, and productivity of a neotropical migrant, *Setophaga petechia*. *Plos one*, 9(5): 1 – 8.
- Dunn, P., y D. Winkler. (1999). Climate change has affected the breeding date of tree swallows throughout North America. *Proceedings of The Royal Society B*, 266: 2487-2490.
- Durán García, R., W.M. Torres Avilez y I. Espejel Carvajal. (2010). Vegetación de dunas costeras. In R. Durán García & M. Méndez González, *Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán* (1st ed., pp. 136 - 137). Mérida, Yucatán: CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA.
- Fernández-Juric, E. (2000). Bird community composition patterns in urban parks of Madrid: The role of age, size and isolation. *Ecological Research*, 15: 373-383.
- Ferrer Sánchez, Y. (2015). Variables que influyen en la distribución y abundancia de rapaces diurnas y en la ubicación de sus sitios de anidación en Cuba. Tesis de doctorado. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., La paz.
- Flores-Guido, J.S., R. Duran García y J.J. Ortiz Díaz. (2010). Comunidades vegetales terrestres. En Durán R. y M. Méndez (Eds). *Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán*. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA. Pp 125-129.

- Fretwell, S. D. y H. L. Lucas, Jr. 1970. On territorial behavior and other factors influencing habitat distribution in birds. I. Theoretical development. *Acta Biotheoretica* 19: 16-36.
- Gallinat, A., R. Primack y D. Wagner. (2015). Autumn, the neglected season in climate change research. *Trends in Ecology and Evolution* 30: 169-176.
- García, D. (2007). El concepto de escala y su importancia en el análisis espacial. Eds. Maestre F.T., A. Escudero y A. Bonet) En: *Introducción al análisis espacial de datos en ecología y ciencias ambientales: métodos y aplicaciones*. Madrid.
- Godet, L., P. Gaüzere, F. Jiguet, y V. Devictor. (2014). Dissociating several forms of commonness in birds sheds new light on biotic homogenization. *Global Ecology and Biogeography*, 1–11.
- Gómez-Pompa, A. y R. Dirzo (Coords). (1995). *Reservas de la biosfera y otras áreas naturales protegidas de México*. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAP y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (Edición digital: Conabio 2006).
- Gordo O. (2006). *Spatial and temporal migratory patterns of trans-Saharan birds in the Iberian Peninsula*. Tesis de doctorado. Universitat de Barcelona, Barcelona.
- Gordo, O. (2007). Why are bird migration dates shifting? A review of weather and climate effects on avian migratory phenology. *Climate research*, 35: 37–58.
- Gordo, O., y H. Doi. (2012). Spring phenology delays in an insular subtropical songbird: is response to climate change constrained by population size? *Journal of Ornithology*, 153: 355-366.
- Graham, C.H., S.R. Supp, D.R. Powers, P. Beck, M.C.W. Lim, A. Shankar, T. Cormier, S. Goetz y S.M. Wethington. (2016). Winter conditions influence biological responses of migration hummingbirds. *Ecosphere*, 7(10): 1 – 18.
- Greenberg, R. (1992). Forest migrants in non-forest habitats on the Yucatan Peninsula. Pages 273-286 in J. M. Hagan, III, and D. W. Johnston. (eds.). *Ecology and conservation of Neotropical migrant landbirds*. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C., USA.

- Halffter, G., P. Koleff, y A. Melic. (Eds.). (2005). Sobre diversidad biológica: El significado de las diversidades alfa, beta y gamma. (volumen 4). Zaragoza, España: m3m-Monografías 3er Milenio, SEA, CONABIO, Grupo Diversitas y CONACYT.
- Hansen, A., R. Neilson, V. Dale, C. Flather, L. Iverson y D. Currie. *et al* (2001). Global Change in Forests: Responses of Species, Communities, and Biomes. *Bioscience*, 51: 765.
- Helbig, A. (2003). Evolution of bird migration: a phylogenetic and biogeographic perspective. En P. Berthold, E. Gwinner y E. Sonnenschein, *Avian migration* (pp. 4-38). New York: Springer.
- Hewitt, J., S. Thrush, J. Halliday y C. Duffy. (2005). The importance of small-scale habitat structure for maintaining beta diversity. *Ecology*, 86: 1619-1626.
- Hilden, O. (1965). Habitat selection in birds: A review. *Annales Zoologici Fennici*. 2: 53-75.
- Howell, S. y S. Webb. (1995). *A guide to the birds of Mexico and northern central America*. Oxford University Press, 857 p.
- Hunt, P.D., L. Reitsma, S.L. Burson y B.B. Steele. (2005). Spatial and temporal distribution of northern waterthrushes among nonbreeding habitats in southwestern Puerto Rico. *Biotropica*, 37(4): 697 – 701.
- Hutto, R. L. (1985). Habitat selection by nonbreeding, migratory land birds. 455-476 en M. L. Cody, ed. *Habitat selection in birds*. Academic Press, Orlando, Fla
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2012). IPCC releases full report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation (SREX).
- Jenni, L. y M. Kéry. (2003). Timing of autumn bird migration under climate change: advances in long-distance migrants, delays in short-distance migrants. *Proceedings of Royal society of London B*. 270: 1467 – 1471.
- Jones T. y Cresswell W. (2010). The phenology mismatch hypothesis: are declines of migrant birds linked to uneven global climate change? *Journal of Animal Ecology*. 79: 98 – 108

- Keith, S. A., A.C. Newton, M.D. Morecroft, C.E. Bealey y J.M. Bullock. (2009). Taxonomic homogenization of woodland plant communities over 70 years. *Proceedings of the Royal Society B*, 276: 3539–3544.
- Knudsen, E., A. Lindén, T. Ergon, N. Jonzén, J.O. Vik, J. Knappe, J.E. Roer y N.C. Stenseth. (2007). Supplementary online appendix to accompany the article “Characterizing bird migration phenology using data from standardized monitoring at bird observatories”. *Climate Research*, 35: 59 - 77.
- Koenker, R. (2018). `quantreg`: Quantile regression. <https://cran.rproject.org/web/packages/quantreg>
- Kokko, H. (1999). Competition for early arrival in migratory birds. *Journal of Animal Ecology*, 68: 940 – 950.
- La Sorte, F.A. y W.J. Boecklen. (2005). Temporal turnover of common species in avian assemblages in North America. *Journal of biogeography*, 32: 1151 – 1160.
- La Sorte, F. A. y D. Fink. (2016). Migration distance, ecological barriers and en-route variation in the migratory behaviour of terrestrial bird populations. *Global Ecology and Biogeography*, 1–12.
- Lehikoinen A. y K. Jaatinen. (2012). Delayed autumn migration in northern European waterfowl. *Journal of Ornithology*. 153: 563 – 570.
- Lehikoinen, E., T. Sparks y M. Zalakevicius. (2004). Arrival and departure dates. En: A. Moller, W. Fiedler & P. Berthold (eds.), *Birds and climate change* (pp. 1-31). Netherlands: Elsevier.
- Levey, D. J., y W.H. Karasov. (1989). Digestive Responses of Temperate Birds Switched to Fruit or Insect Diets. *The Auk*, 106: 675–686.
- Levin, S. (1992). The problem of pattern and scale in ecology. *Ecology*, 73: 1943-1967.
- Lockwood, J. L., and M. L. McKinney. (2001). Biotic homogenization. *Kluwer Academic/Plenum*, New York. 33–56 pp.

- Lynch, J. F. (1992). Distribution of overwintering Nearctic migrants in the Yucatan peninsula. II. Use of native and human-modified vegetation. Pages 178-196 in J. M. Hagan, III, and D. W. Johnston, (eds.) Ecology and conservation of Neotropical migrant landbirds. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C., USA.
- MacKinnon, B. (2017). Sal a pajarear Yucatán [Guía de aves]. La vaca independiente S.A. de C.V. Ciudad de México, 315.
- MacMynowski D.P. y T.L. Root. (2007). Climate and the complexity of migratory phenology: sexes, migratory distance, and arrival distributions. *International Journal of Biometeorology* 51: 361 – 373.
- Márdero, S., E. Nickl, B. Schmook, L. Schneider, J. Rogan, Z. Christman y D. Lawrence. (2012). Sequías en el sur de la península de Yucatán: análisis de la variabilidad anual y estacional de la precipitación. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*: 78: 19 – 33.
- Mayor, S.J, D.C. Schneider, J.A. Schaefer y S.P. Mahoney. (2009). Habitat selection at multiple scales. *Ecoscience*, 16(2): 238 – 247.
- Mayor, S. J., R.P. Guralnick, M.W. Tingley, J. Otegui, J.C. Withey, S.C. Elmendorf, ... D.C. Schneider. (2017). Increasing phenological asynchrony between spring green-up and arrival of migratory birds. *Scientific reports*, 7: 1–10.
- McKinney, M.L y J.L. Lockwood. (1999). Biotic homogenization: a few winners replacing many losers in the next mass extinction. *Tree*, 14(11): 450 – 453.
- McWilliams, S. y W. Karasov. (2001). Phenotypic flexibility in digestive system structure and function in migratory birds and its ecological significance. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 128: 579-593.
- Medellin, R., A. Abreu-Grobois, M.D.C. Arizmendi, E. Mellink, E. Ruelas, E. Santana y J. Urbán. (2009). Conservación de especies migratorias y poblaciones transfronterizas. CONABIO (ed.). *Capital Natural de México*. 2: 485-490.

- Miller-Rushing, A. J., T. Lloyd-Evans, R.B. Primack, y P. Satzinger. (2008). Bird migration times, climate change, and changing population sizes. *Global Change Biology*, 14: 1959–1972.
- Moller, A., D. Rubolini, y E. Lehikoinen. (2008). Populations of migratory bird species that did not show a phenological response to climate change are declining. *Proceedings of the National Academy of Science of America*, 105: 16195-16200.
- Moore, M.C., R.S. Donham y D.S. Farner. (1982). Physiological preparation for autumnal migration in white-crowned sparrows. *Condor* 84, 410–419.
- Moreno, C.E. y G. Halffter. (2001). Spatial and temporal analysis of alfa, beta and gamma diversity of bats in a fragmented landscape. *Biodiversity and Conservation*: 10: 367 – 328.
- Morris, D. (1999). Temporal variation, habitat selection and community structure. *OIKOS*, 59: 303-312.
- Norris, D.R. (2005). Carry-over effects and habitat quality in migratory populations. *Oikos*, 109: 178 – 186.
- Ocampo-Peñuela, N. (2010). El fenómeno de la migración en aves: mirada desde la Orinoquia. *Orinoquia* 14: 188-200.
- Oksanen J., F. Guillaume Blanchet, M. Friendly, R. Kindt, P. Legendre, D. McGlenn, P. Minchin, R. O'Hara, G. Simpson, P. Solymos, M. Stevens, E. Szoecs y H. Wagner. (2018). Community Ecology Package. <https://cran.r-project.org/web/packages/vegan/vegan.pdf>
- Olden, J.D. y N.L. Poff. (2003). Toward a mechanistic understanding and prediction of biotic homogenization. *The American naturalist*: 162(4): 442 – 460.
- Olden, J.D. y T.P. Rooney. (2006). On defining and quantifying biotic homogenization. *Global Ecology and Biogeography*, 15(2): 113 – 120.
- Pacifici, M., P. Visconti, S.H.M. Butchart, J.E.M. Watson, F.M. Cassola y C. Rondinini. Species' traits influenced their response to recent climate change. *Nature climate change*, 7(3): 205.
- Padilla, F. y A. Cuesta. (2003). *Zoología aplicada*. Ediciones Díaz de Santos, España, 488 pp.

- Parmesan, C. (2006). Ecological and Evolutionary Responses to Recent Climate Change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 37: 637-669.
- Paxton, K.L. y F.R. Moore. (2015). Carry-over effects of winter habitat quality on en route timing and condition of a migratory passerine during spring migration. *Journal of Avian Biology*, 46: 495 – 506.
- Pearman, P. (2002). The scale of community structure: habitat variation and avian guilds in tropical forest understory. *Ecological Monographs*, 72: 19-39.
- Peñuelas, J. y I. Filella. (2001). Responses to a Warming World. *Science*, 294: 793–795.
- Pulido F. (2007). Phenotypic changes in spring arrival: evolution, phenotypic plasticity, effect of weather and condition. *Climate research*. 35: 5 – 23.
- Putman, R. (1994). *Community Ecology*. Kluwer Academic Publishers. Netherlands, 178 pp.
- R Development Core Team (2018). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Ralston, J., V. DeLuca, R. Feldman y D. King. (2016). Realized climate niche breadth varies with population trend and distribution in North American birds. *Global Ecology and Biogeography*. 25: 1173 – 1180.
- Rappole J.H., E.S. Morton, T.E. Lovejoy y J. Ruos. (1993). *Aves migratorias neárticas en los neotrópicos*. Conservation and research center. Estados Unidos de América, 341 pp.
- Reitsma, L., P. Hunt, S.L. Burson y B.B. Steele. (2002). Site fidelity and ephemeral habitat occupancy: Northern Watethrush use of Puerto Rican black mangroves during the nonbreeding season. *The Wilson Bulletin*, 114: 99 – 105.
- Reudink, M.W., P.P. Marra, T.K. Kyser, P.T. Boag, K.M. Lanning y L.M. Ratcliffe. (2009). Non-breeding season events influence sexual selection in a long-distance migratory bird. *Proceedings of the royal society B*, 276: 1619 – 1626.
- Rohde, K. (2006). *Nonequilibrium Ecology*. Cambridge University Press. New York, United States, 233pp.

- Rubolini, D., N. Saino y A.P. Moller. (2010). Migratory behaviour constrains the phenological response of birds to climate change. *Climate research*, 42: 45 – 55.
- Saino, N., R. Ambrosini, D. Rubolini, J. Von Hardenberg, A. Provenzale, K. Hüppop, ... L. Sokolov. (2011). Climate warming, ecological mismatch at arrival and population decline in migratory birds. *Proceedings of the Royal Society B*, 278: 835–842.
- Sherry, T y R. Holmes. (1995). *Ecology and management of neotropical migratory birds*. Oxford University Press. 512 p.
- Slager, D.L., P.G. Rodewald, P.J. Heglund. (2015). Experimental effects of habitat type on the movement ecology and stopover duration of spring migrant Northern Waterthrushes (*Parkesia noveboracensis*). *Behavioural ecology and sociobiology*, 69 (11): 1809 – 1819.
- Sparks, T. H., K. Huber, R.L. Bland, H.Q.P. Crick, P.J. Croxton, J. Flood, ... P. Tryjanowski. (2007). How consistent are trends in arrival (and departure) dates of migrant birds in the UK? *Journal of Ornithology*, 148: 503–511.
- Stervander M., A. Lindström, N. Jonzén y A. Andersson. (2005). Timing of spring migration in birds: long-term trends, North Atlantic Oscillation and the Significance of Different Migration Route. *Journal of Avian Biology*. 36(3): 210 – 221.
- Studds, C., y P. Marra. (2007). Linking fluctuations in rainfall to nonbreeding season performance in a long-distance migratory bird, *Setophaga ruticilla*. *Climate Research*, 35: 115-122.
- Swanson, D., y J. Palmer. (2009). Spring migration phenology of birds in the Northern Prairie region is correlated with local climate change. *Journal of Field Ornithology*, 80: 351-363.
- Tapia L., P.L. Kennedy y R.W. Mannan. (2007). Habitat sampling. En: Bird, D.M., Blidstein, K.L. (eds.) *Raptor research and management techniques*. Hancock House Publishers. Washington, 153-171 pp.
- Thorup K., Tøttrup A.P. y Rahbek C. (2007). Patterns of phenological changes in migratory birds. *Oecologia* 151: 697 – 703.

- Tryjanowski, P., S. Kuzniak y T. Sparks. (2005). What affects the magnitude of change in first arrival dates of migrants birds?. *Journal of Ornithology*. 146: 200 – 205.
- Ugalde-Lezama, S., J.L. Alcantará-Carbajal, J.I. Váldez-Hernández, G. Ramírez-Valverde, J. Velázquez-Mendoza y L.A. Tarángo-Arámbula. (2010). Riqueza, abundancia y diversidad de aves en un bosque templado con diferentes condiciones de perturbación. *Agrociencia*, 44: 159–169.
- Van Buskirk, J., R. Mulvihill y R. Leberman. (2009). Variable shifts in spring and autumn migration phenology in North American songbirds associated with climate change. *Global Change Biology* 15: 760-771.
- Van Turnhout, C.A.M., R.P.B. Foppen, R.S.E.W. Leuven, H. Sipel y H. Esselink. (2007). Scale-dependent homogenization: changes in breeding bird diversity in the Netherlands over a 25-year period. *Biological conservation*, 34: 505 – 516.
- Vansteelant, W., W. Bouten, R. Klassen, B. Koks, A. Schlaich, J. Van Diermen, E. Van Loon y J. Shamoun-Baranes. (2015). Regional and seasonal flight speeds of soaring migrants and the role of weather conditions at hourly and daily scales. *Journal of Avian Biology*. 46: 25 – 39.
- Vázquez-Reyes, L. D., M. del C. Arizmendi, H.O. Godínez-Álvarez y A.G. Navarro-Sigüenza. (2017). Directional effects of biotic homogenization of bird communities in Mexican seasonal forests. *The condor*, 119: 275–288.
- Vega-Moro, A. y M.F. Cepeda-González (compiladores y editores). (2006). Planeación para la conservación de la Reserva de la Biosfera Ría Lagartos. R. Durán, M. Méndez, S. García-Peregrina, M. Andrade-Hernández, E. Acosta-Lugo, J.C. Faller-Menéndez, C. Lasch-Thaler, D. Bermudez, E. Galicia-Zamora y R. Kantún-Palma. Pronatura Península de Yucatán y The Nature Conservancy. Yucatán, México. 142 p.
- Végyvári, Z., V. Bókony, Z. Barta y G. Kovács. (2010). Life history predicts advancement of avian spring migration in response to climate change. *Global Change Biology*, 16: 1 – 11.
- Velarde-González, M. E., R. Sanay-González, H. Perales-Valdivia, M. Rojas-Espinoza, F. Daniel Ruz-Rosado, y O. Gutiérrez-Benítez, 2015. Distribución y abundancia de aves marinas en

---

el Sistema Arrecifal Veracruzano, p. 231-248. En: A. Granados-Barba, L. Ortiz-Lozano, D. Salas-Monreal y C. González-Gándara (eds.). Aportes al conocimiento del Sistema Arrecifal Veracruzano: hacia el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México. Universidad Autónoma de Campeche. 366 p

Vellend, M. (2016). *The Theory of Ecological Communities*. Princeton University Press. Estados Unidos de América. 248 pp.

Volkov, S., O. Grinchenko y T. Sviridova. (2016). The effects of Weather and Climate Changes on the Timing of autumn Migration of the common crane (*Grus grus*) in the North of Moscow Region. *Biology bulletin*. 43 (9): 1203 – 1211.

White, H.J., W.I. Montgomery, L. Storchová, D. Horak y J.J. Lennon. (2018). Does functional homogenization accompany taxonomic homogenization of british birds and how do biotic factors and climate affect these processes? *Ecology and Evolution*, 1 – 13.

Wilson, M.V. y A. Shmida. (1984). Measuring beta diversity with presence-absence data. *Journal of Ecology*, 72: 1055 – 1064.

Winger, B.M., F.K. Barker y R.H. Ree. (2014). Temperate origins of long-distance seasonal migration in new world songbirds. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(33): 12115 – 12120.

Wunderle, J.M. y R.B. Waide. (1993). Distribution of overwintering nearctic migrants in the Bahamas and Greater Antilles. *The condor*, 95: 904 – 933.

Yong, W. y F. Moore. (1997). Springs stopover of intercontinental migratory thrushes along the northern coast of the Gulf of Mexico. *The Auk*, 114(2): 263 – 278.

Zenzal, T.J., A.J. Contina, J.F. Kelly y F.R. Moore. (2018). Temporal migration patterns between natal location of Ruby-throated hummingbirds and their Gulf Coast stopover site. *Movement Ecology*, 6: 1-7.

Zenzal, T.J., F.R. Moore, R.H. Diehl, M.P. Ward y J.L. Deppe. (2018b). Migratory hummingbirds make their own rules: the decision to resume migration along a barrier. *Animal behaviour*, 137: 215 – 224.

Zenzal T.J y F.R. Moore. (2016). Stopover biology of Ruby-throated hummingbird (*Archilochus colubris*) during autumn migration. *The Auk Ornithological Advances*, 133: 237 – 250.

## Anexos

Anexo 1 Coordenadas de los cuatro hábitats y redes utilizadas dentro de los hábitats de duna y manglar.

<b>Lugar</b>	<b>latitud</b>	<b>longitud</b>
<i>Red 1</i>	21°31'29.08"N	87°44'38.95"O
<i>Red 2</i>	21°31'35.56"N	87°44'52.92"O
<i>Red 3</i>	21°31'35.15"N	87°44'41.73"O
<i>Red 4</i>	21°31'36.81"N	87°44'41.35"O
<i>Red 5</i>	21°31'42.41"N	87°44'39.12"O
<i>Red 6</i>	21°31'40.01"N	87°44'38.42"O
<i>Red 7</i>	21°31'36.07"N	87°44'38.71"O
<i>Red 8</i>	21°31'49.35"N	87°44'37.46"O
<i>Red 9</i>	21°31'45.48"N	87°44'38.17"O
<i>Red 10</i>	21°31'38.58"N	87°44'39.31"O
<i>Selva baja espinosa</i>	21°34'33.51"N	88° 1'59.86"O
<i>Matorral de duna costera</i>	21°32'14.13"N	87°47'8.85"O
<i>Manglar</i>	21°29'19.63"N	87°41'28.38"O
<i>Selva mediana</i>	21°27'21.13"N	87°33'6.98"O

Anexo 2 Especies con llegadas significativas. F1: Fecha de inicio; Ult.: Fecha de término; Intervalo: Intervalos con el 95% de confianza

Especies	Período uno (2001-2003)				Período dos (2016-2017)			
	F1	Intervalo	Ult.	Intervalo	F1	Intervalo	Ult.	Intervalo
<i>Archilochus colubris</i>	276	271-290	319	312-320	302	302-305	320	310-320
<i>Contopus virens</i>	248	248-254	308	282-308	234	234-241	288	272-288
<i>Parkesia noveborascensis</i>	233	228-237	315	302-319	231	228-244	298	279-301
<i>Setophaga fusca</i>	251	251-258	271	268-271	235	235-239	281	270-281